

GUIDO ASSUNÇÃO RIBEIRO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO FOGO E DE ALGUNS
EFEITOS DA QUEIMA CONTROLADA EM POVOAMENTOS
DE *Eucalyptus viminalis* LABILL EM TRÊS BARRAS,
SANTA CATARINA.**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e à Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau e do título de "Doutor em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares

CURITIBA

1997

GUIDO ASSUNÇÃO RIBEIRO

Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* Labill em Três Barras, Santa Catarina.

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e à Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau e do título de “Doutor em Ciências Florestais”.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares

CURITIBA
1997



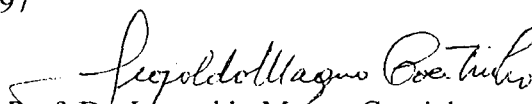
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

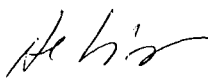
P A R E C E R

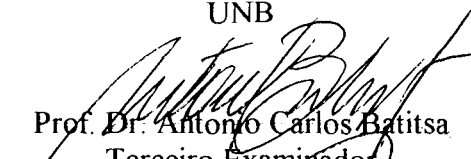
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **GUIDO ASSUNÇÃO RIBEIRO**, sob o título "**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO FOGO DE ALGUNS EFEITOS DA QUEIMA CONTROLADA EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus viminalis* LABILL EM TRÊS BARRAS, SANTA CATARINA**", para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.


Após haver analisado o referido trabalho e argüido o Candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese, com média final: (**8,8**), correspondente ao conceito: (**A**).

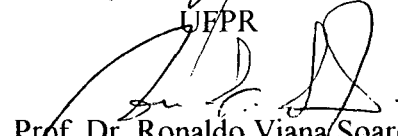
Curitiba, 24 de ABRIL de 1997


Prof. Dr. Leopoldo Magno Coutinho
Primeiro Examinador
USP


Profa. Dra. Heloisa Sinátora Miranda
Segunda Examinadora
UNB


Prof. Dr. Antonio Carlos Batitsa
Terceiro Examinador
UFPR


Prof. Dr. Eli Nunes Marques
Quarto Examinador
UFPR


Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares
Orientador e Presidente da Banca
UFPR

Para

**RENAN,
CAROLINA,
BRENDA e
SÔNIA.**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e Departamento de Engenharia Florestal, pelo incentivo ao treinamento e oportunidade oferecida.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio e pela confiança depositada.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares, pela orientação, pelos ensinamentos e pelas oportunidades disponibilizadas durante o curso e por viabilizar as condições para o desenvolvimento da tese.

Aos Professores co-orientadores Dr. Franklin Galvão e Dr. Jorge Roberto Malinovski, pelas críticas e sugestões.

Aos professores membros da banca examinadora, Dr. Antonio Carlos Batista, Dr. Eli Nunes Marques, Dra. Heloísa Sinátora Miranda e Dr. Leopoldo Magno Coutinho, pelas correções oportunas e pelas sugestões que contribuíram para melhorar a qualidade do trabalho;

À RIGESA Celulose, Papel e Embalagens Ltda., na pessoa de seu diretor Engenheiro Florestal Etsuro Murakami, pela concessão da área para levantamento dos dados, pelas facilidades oferecidas no uso de suas dependências e apoio logístico durante os trabalhos de campo.

Ao pessoal técnico e operacional da RIGESA, representado pelo Engenheiro Florestal Marco Antônio Rigota Brito, pela viabilização das atividades de campo, pelas sugestões e apoio durante o período de levantamento dos dados e aos Engenheiros Florestais Luís Otávio de Andrade e Ricardo Mayvorme Paim, pelas orientações em suas respectivas áreas de trabalho.

À FUPEF - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, pelo auxílio e pela administração da prestação de contas durante os trabalhos de campo.

À EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina S.A., Regional de Canoinhas, pelo empréstimo da estufa utilizada para secagem do material orgânico.

Aos Professores Márcio Pereira da Rocha e Humberto Klock do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, da Universidade Federal do Paraná, pelas facilidades oferecidas no uso dos laboratórios daquele departamento.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos ensinamentos transmitidos e pela convivência.

Ao Professor Dr. Hélio Garcia Leite, do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, pela orientação na análise dos dados dendrométricos;

Aos colegas de curso, pela amizade, troca de experiências e apoio nos momentos mais árduos.

À minha família que, involuntariamente, cedeu parte do tempo que deveria ser dedicado à ela.

Às demais pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 O EMPREGO DO FOGO COMO TÉCNICA SILVICULTURAL	3
2.1.1 Conceito de queima controlada	4
2.1.2 Usos do fogo	5
2.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL	7
2.2.1 Quantificação do material combustível	8
2.2.2 Material combustível disponível	12
2.2.3 Umidade do material combustível	12
2.2.4 Composição química e poder calorífico do material combustível .	14
2.3 VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO	15
2.3.1 Intensidade da linha de fogo	16
2.3.2 Altura de carbonização	19
2.3.3 Altura de crestamento	19
2.3.4 Energia liberada	20
2.4 EFEITOS DO FOGO	21
2.4.1 Efeitos do fogo sobre o solo	21
a) Aquecimento do solo	22
b) Propriedades físicas do solo	24
c) Propriedades químicas do solo	25
d) Erosão	28
2.4.2 Efeitos do fogo sobre a vegetação	30
2.4.3 Efeitos do fogo sobre a sucessão vegetal	34
2.4.4 Efeitos do fogo sobre a fauna	37
2.4.5 Efeitos do fogo sobre o ar atmosférico	38
2.4.6 Outros efeitos	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 ÁREA DE ESTUDO	41
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	47
3.3 COLETA DE DADOS	48
3.3.1 Inventário do material combustível	49

a) Coleta do material combustível	50
b) Preparo das subamostras para análise em laboratório	51
c) Análise do material combustível	52
3.3.2 Amostragem e análise de solo	54
3.3.3 Medições dendrométricas	55
a) Medição dos DAP's da metade das árvores da parcela com ajuste de equação hipsométrica, para estimativa das altu- ras	55
b) Estimativa do volume da metade da parcela, cujos DAP's não foram medidos	57
3.3.4 Obtenção dos dados meteorológicos	58
3.3.5 Corte das árvores	58
3.3.6 Número de cepas brotadas e altura da brotação	59
3.3.7 Análise de tecido da brotação (folha)	59
3.3.8 Medição da declividade das parcelas	60
3.3.9 Determinação das variáveis associadas com o comportamento do fogo	61
a) Velocidade de propagação do fogo	61
b) Intensidade da linha de fogo	62
c) Energia liberada por unidade de área	63
d) Altura de crestamento	63
e) Altura de carbonização	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 INVENTÁRIO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL	65
4.2 REDUÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA EM DECOMPOSIÇÃO	77
4.3 ANÁLISE DE TECIDO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL	79
4.4 COMPORTAMENTO DO FOGO	81
4.4.1 Poder calorífico	81
4.4.2 Intensidade da linha de fogo	85
4.4.3 Energia liberada por unidade de área	92
4.4.4 Altura de crestamento	94
4.4.5 Altura de carbonização	97
4.5 SOLO	101
4.5.1 Comparação entre as médias dos tratamentos para cada mês de coleta	102
a) Queima de primavera	102
b) Queima de outono	102
b.1) pH	106
b.2) Alumínio (Al^{+3})	106
b.3) Hidrogênio+Alumínio (H+Al)	107
b.4) Carbono (C)	107
b.5) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	107
b.6) Saturação em Alumínio (m)	108
b.7) Cálcio+Magnésio ($Ca^{+2}+Mg^{+2}$)	108
b.8) Fósforo (P)	108
4.5.2 Comparação entre as médias, ao longo dos meses de coleta, para cada tratamento	108

a) Queima de primavera	108
a.1) pH	109
a.2) Hidrogênio+Alumínio (H+Al)	109
a.3) Carbono (C)	109
a.4) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	110
b) Queima de outono	110
b.1) pH	110
b.2) Hidrogênio+Alumínio (H+Al)	110
b.3) Carbono (C).....	111
b.4) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	111
b.5) Saturação em Alumínio (m)	112
b.6) Cálcio+Magnésio ($\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$)	112
4.6 ALTURA E PERCENTAGEM DE BROTAÇÃO.....	112
4.7 ANÁLISE FOLIAR	117
4.8 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE CORTE.....	119
 CONCLUSÕES	 125
 ANEXOS	 128
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 136

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM PERFIL DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO	44
TABELA 2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM PERFIL DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO	45
TABELA 3	MATERIAL ORGÂNICO COMPONENTE DAS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL	50
TABELA 4	ESPÉCIES LEVANTADAS NO INVENTÁRIO EXPEDITO	65
TABELA 5	VOLUME (m ³) DA ÁRVORE-MODELO POR TRATAMENTO, VOLUME PARCIAL (m ³) COM BASE NA ÁRVORE-MODELO E NAS MEDIÇÕES PARA AS DUAS ÉPOCAS DE QUEIMA E NÚMERO DE ÁRVORES MEDIDAS E NÃO-MEDIDAS	66
TABELA 6	MÉDIAS DO PESO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m ⁻²), INCINERADO E NÃO-INCINERADO POR CLASSE, ÉPOCA E TÉCNICA DE QUEIMA, ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	68
TABELA 7	MÉDIAS DO PESO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m ⁻²), INCINERADO E NÃO-INCINERADO POR CLASSE, ÉPOCA E TÉCNICA DE QUEIMA, APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	68
TABELA 8	MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m ⁻²), POR CLASSE E TRATAMENTO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA DE PRIMAVERA E OUTONO	69
TABELA 9	PERCENTAGEM MÉDIA DA FRAÇÃO MINERAL POR CLASSE E POR ÉPOCA DE QUEIMA, ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	70
TABELA 10	PERCENTAGEM MÉDIA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL, POR CLASSE E ÉPOCA DE QUEIMA, ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	71
TABELA 11	MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL DISPONÍVEL (g.m ⁻²), POR CLASSE E TRATAMENTO, E PERCENTUAL DE REDUÇÃO DAS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO ..	72
TABELA 12	ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL	74
TABELA 13	MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m ⁻²) DA SUBCLASSE C-1MD ANTES E DA CLASSE C-1 DEPOIS DA QUEIMA	76

TABELA 14	ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL	77
TABELA 15	MÉDIAS DA ESPESSURA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (cm) ANTES E DEPOIS DA QUEIMA DE PRIMAVERA E OUTONO E PERCENTUAL DE REDUÇÃO POR TRATAMENTO	78
TABELA 16	MÉDIAS DE N, P, K, Ca E Mg, EM %, RESULTANTE DA ANÁLISE DE TECIDO FEITA PARA O MATERIAL COMBUSTÍVEL ANTES E DEPOIS DA QUEIMA	79
TABELA 17	MÉDIAS DO PODER CALORÍFICO EFETIVO E REAL (kcal.kg^{-1}) POR BLOCO E POR CLASSE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL	82
TABELA 18	MÉDIAS DO PODER CALORÍFICO REAL (kcal.kg^{-1}) POR CLASSE E PARA TODAS AS CLASSES E POR TRATAMENTO	85
TABELA 19	MÉDIAS DO TEMPO (min.) E VELOCIDADE DE QUEIMA (m.s^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS DE PRIMAVERA E OUTONO	87
TABELA 20	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO	88
TABELA 21	MÉDIAS DA INTENSIDADE DA LINHA DE FOGO ($\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$), POR TRATAMENTO	89
TABELA 22	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DA LINHA DE FOGO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO	91
TABELA 23	MÉDIAS DE ENERGIA LIBERADA (kcal.m^{-2}), POR TRATAMENTO	93
TABELA 24	VALORES MÉDIOS DA ALTURA DE CRESTAMENTO (m) CALCULADA COM BASE NAS EQUAÇÕES APRESENTADAS POR VAN WAGNER (1973)	96
TABELA 25	ALTURA DE CARBONIZAÇÃO (cm) NAS ÁRVORES DAS PARCELAS DAS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO	99
TABELA 26	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ALTURA DE CARBONIZAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO	100
TABELA 27	MÉDIA DOS PARÂMETROS DO SOLO ANALISADOS, POR TÉCNICA DE QUEIMA E MÊS DE COLETA	103

TABELA 28	VALORES MÉDIOS DA ALTURA (cm) E DA PERCENTAGEM DE BROTAÇÃO POR TRATAMENTO E ÉPOCA DE QUEIMA	113
TABELA 29	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ALTURA (cm) E PERCENTAGEM DE REGENERAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO	116
TABELA 30	QUANTIDADE MÉDIA DE N, P, K, Ca E Mg, EM %, RESULTANTE DA ANÁLISE FOLIAR, AOS 9 MESES DE IDADE	117
TABELA 31	TEMPO DE CORTE (min), VOLUME (m ³) E RELAÇÃO VOLUME/TEMPO PARA AS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO	120
TABELA 32	RESULTADO DA ANÁLISE DE CONTRASTE PARA A RELAÇÃO VOLUME/TEMPO PARA AS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO	121
TABELA 33	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A DECLIVIDADE E O TEMPO E A DECLIVIDADE E O RENDIMENTO DE CORTE	122
TABELA 34	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE O RENDIMENTO DE CORTE E NÚMERO DE ÁRVORES E O RENDIMENTO E VOLUME	123

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
FIGURA 2	VISÃO GERAL DAS PARCELAS ANTES DA REALIZAÇÃO DA QUEIMA	42
FIGURA 3	BALANÇO HÍDRICO, SEGUNDO THORNTHWAITE & MATHER (1955), DO PERÍODO DE 1958-1989, PARA O MUNICÍPIO DE TRÊS BARRAS, SANTA CATARINA	43
FIGURA 4	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995	45
FIGURA 5	PRECIPITAÇÃO MENSAL DO PERÍODO DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995	46
FIGURA 6	UMIDADE RELATIVA MENSAL DO PERÍODO DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995	46
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS AMOSTRAS DE 1 m ² DENTRO DAS PARCELAS PARA AMOSTRAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL	49
FIGURA 8	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS, PARA COLETA DE SOLO, DENTRO DA PARCELA	54
FIGURA 9	PONTOS DE VISADA E POSICIONAMENTO DO OBSERVADOR PARA MEDIÇÃO DA DECLIVIDADE DA PARCELA	60
FIGURA 10	ASPECTOS DE UMA QUEIMA EM FAIXAS A FAVOR DO VENTO (A) E DE UMA QUEIMA CONTRA O VENTO (B)	86
FIGURA 11	DETALHES DA ALTURA DE CARBONIZAÇÃO E DA MANTA ORGÂNICA APÓS A QUEIMA	98

LISTA DE ABREVIATURAS

A-1...A-7... D-1...D-7	identificação da parcela (letra=bloco; número=parcela)
Al	alumínio
C	carbono
C-1MD	classe 1 de material combustível em decomposição
C-1MF	classe 1 de material combustível fino
C-1MV	classe 1 de material combustível verde
C-2	classe 2 de material combustível
C-3	classe 3 de material combustível
Ca+Mg	cálcio+magnésio
Cp	parcela da queima contra o vento de primavera
Co	parcela da queima contra o vento de outono
DAP	diâmetro à altura do peito
f_r	fator de forma
Fp	parcela da queima em faixas a favor do vento de primavera
Fo	parcela da queima em faixas a favor do vento de outono
H	poder calorífico
H+Al	hidrogênio+alumínio
Ha	energia liberada por unidade de área
h	altura da árvore
h_s	altura de crestamento
I	intensidade da linha de fogo
K	potássio
$\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$	quilocaloria por segundo por metro
m	saturação em alumínio
Mg	magnésio
N	nitrogênio
P	fósforo
r	velocidade de espalhamento do fogo
T (CTC)	capacidade de troca catiônica
T_c	teor de cinzas
Tp	parcela controle de primavera
To	parcela controle de outono
v	saturação em bases
w	carga de material combustível

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido num povoamento de *Eucalyptus viminalis* Labill pertencente à RIGESA Celulose, Papel e Embalagens Ltda., localizada no município de Três Barras, Santa Catarina. Os objetivos foram: determinar os efeitos da queima sobre a redução do material combustível; analisar os principais parâmetros do comportamento do fogo; caracterizar quantitativamente a queima, baseando-se em algumas relações existentes na literatura; avaliar os efeitos da queima controlada sobre o rendimento de corte das árvores; avaliar alguns efeitos provocados pela queima na composição química do solo e no número e altura dos brotos; avaliar a técnica de queima mais adequada para a primavera e o outono. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos basearam-se nas técnicas de queima, ou seja, em faixas a favor e contra o vento e testemunha, nas estações de primavera e outono. As queimas, devido a inexistência de condições meteorológicas favoráveis na primavera e outono, foram realizadas em 10/10/94 (primavera) e em 23/03/95 (outono), respectivamente. O material combustível foi inventariado antes e depois da queima para determinação do peso de matéria seca por unidade de área, consumo pelo fogo, espessura da camada orgânica, poder calorífico, percentagem de matéria inorgânica e de nutrientes. Antes da queima, a carga total de material combustível foi 32,8 t.ha⁻¹ na primavera e 35,8 t.ha⁻¹ no outono e, após incinerado em mufla, 26,2 e 27,8 t.ha⁻¹ para primavera e outono, respectivamente. O consumo médio geral da carga de material combustível foi de 56 % nas duas épocas (56, 61 e 90 % para as classes C-1, C-2 e C-3 respectivamente). Após incinerado em mufla a queima em faixas a favor do vento consumiu, em média, 3,7 t.ha⁻¹ na primavera e 2,9 t.ha⁻¹ no outono a mais do que a queima contra o vento. A distribuição percentual das classes permaneceu a mesma antes e depois da queima, pois o percentual de redução entre os tratamentos não apresentou diferença estatística significativa. O mesmo aconteceu com a espessura da camada orgânica, cuja redução média geral foi 30 e 34,7 % para as duas épocas, respectivamente. As médias do poder calorífico efetivo e real foram estatisticamente diferentes entre as classes de combustível, exceto entre as classes C-1MV e C-2 (efetivo) e C-1MF e C-2 (real). Em média, a velocidade de queima foi 0,0477 m.s⁻¹ e 0,0131 m.s⁻¹ para a queima em faixas a favor e contra o vento, respectivamente, o que corresponde a uma diferença estatística significativa. A intensidade da linha de fogo, determinada pela equação de Byram, variou entre 50 e 211 kcal.s⁻¹.m⁻¹ e entre 48 e 229 kcal.s⁻¹.m⁻¹ para as queimas contra e em faixas a favor do vento na primavera e no outono, respectivamente, apresentando diferença estatística apenas entre as técnicas de queima. As médias da quantidade de energia liberada por unidade de área (Ha) foram maiores para as queimas em faixas a favor do vento, não apresentando diferença significativa entre as técnicas e época de queima. A altura de crestamento variou de 4,9 m (contra) a 13,5 m (a favor) enquanto a altura de carbonização variou entre 63 cm (contra) e 74 cm (a favor), portanto, apresentando correlação significativa com a altura de crestamento, carga de material combustível, velocidade de propagação e intensidade da linha de fogo. A análise de correlação entre o rendimento de corte e outras variáveis (declividade, número e volume das árvores) resultou em coeficiente significativo apenas para o volume das parcelas da queima de primavera. A análise de contraste não mostrou diferença entre o rendimento de corte das parcelas de todos os tratamentos. A queima de primavera, praticamente, não afetou as propriedades químicas do solo, quando os tratamentos foram comparados para cada mês apenas o teor de carbono diferiu da testemunha no segundo mês de coleta. Na queima de outono, o Ca⁺² + Mg⁺², H+Al, m (saturação em Al) e pH apresentaram alterações estatisticamente significativas ao longo dos 6 meses de coleta após a queima enquanto o Al⁺³, C, T (CTC) e P apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, mesmo

antes da queima. As principais alterações verificadas foram: a maior diferença detectada para o pH foi de 0,52 entre a primeira e a sétima coletas, da queima contra o vento; ocorreu redução no teor de Al^{+3} a partir do teor inicial até o sétimo mês; H+Al comportamento semelhante ao do alumínio; tendência à redução na concentração de C nos 6 meses de coleta após a queima; ocorreu redução de T (CTC) após as duas queimas. Na queima de primavera foi registrada maior variação entre a primeira e sétima coletas do que na de outono e as parcelas-testemunha apresentaram variação estatística significativa; houve tendência à redução dos valores de m (saturação em Al) até o sétimo mês de coleta; $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ tendeu aumentar a concentração ao longo dos 6 meses de coleta após a queima; P apresentou um pequeno aumento após a queima, mas não-significativo. A técnica de queima não influenciou a altura de brotação durante cada época de queima. Analisando as duas épocas conjuntamente, a queima contra o vento de primavera apresentou maior altura, diferenciando estatisticamente de todos os tratamentos da queima de outono. Os tratamentos de queima não influenciaram a percentagem de brotação das cepas e nem o percentual de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) analisados aos 8 meses de idade. A análise de tecido feita no material combustível, antes e depois da queima, detectou diminuição (depois da queima) estatisticamente significativa para o K nos tratamentos aplicados durante as duas épocas de queima, bem como aumento de Ca após a queima, exceto para a queima contra o vento de outono.

ABSTRACT

This work was developed in an *Eucalyptus viminalis* Labill stand pertaining to RIGESA Celulose, Papel e Embalagens Ltda., located in Três Barras, State of Santa Catarina. The purposes of this study were to determine burning effects on forest fuel reduction; to analyze the main parameters of fire behavior; to characterize burning quantitatively based on some relations existing in the available literature; to estimate the effects of a control burning on the tree cutting productivity; to evaluate some burning effects on soil chemical composition and number and height of sprouts; to determine a more adequate burning technique for spring and fall. It was used a randomized block experimental design, with five treatments and four replicates. The treatments were based on the burning technique (strip headfire, backfire and control) on spring and fall seasons. The burnings were conducted on October 10, 1994 and March 23, 1995, respectively. The fuel was inventoried before and after burnings to determine the dry weight fuel load, fuel consumption, duff depth, fuel heating content and percentage of inorganic matter and mineral nutrients. Before burning, the total fuel load, without incineration in muffle furnace, was 32,8 ton.ha⁻¹ in spring and 35,8 ton.ha⁻¹ in fall, and after incineration it was 26,2 and 27,8 ton.ha⁻¹ in spring and fall, respectively. The general average consumption of fuel load was 56 % (56, 61 and 90 % for C-1, C-2 and C-3 classes, respectively). After the muffle furnace incineration the strip headfire consumed, in the average, 3,7 ton.ha⁻¹ (in spring) and 2,9 ton.ha⁻¹ (in fall) more than backfire. The class percent distribution remained the same either before and after burning, since the reduction percent among the treatments didn't shown any statistical differences. The same is true for the duff depth which presented a general average reduction of 30 % and 34,7 % for both seasons, respectively. The effective and useful or real heating content averages were statistically different among fuel classes, except between C-1MV and C-2 (effective) and C-1MF and C-2 (useful or real). In the average, the rate of spread was 0,0477 m.s⁻¹ and 0,0131 m.s⁻¹ for strip headfire and backfire, respectively, which corresponds to a significative difference. The fire line intensity, determined by Byram's equation, ranged from 50 and 211 kcal.s⁻¹.m⁻¹ and 48 and 229 kcal.s⁻¹.m⁻¹ for backfire and strip headfire in the spring and fall, respectively, presenting a statistical difference between burning techniques only. The averages of released heat per unity area were higher for strip headfire and didn't present any significative difference between the techniques and burning times. The scorch height ranged from 4,9 m (backfire) to 13,5 m (strip headfire) while the bark charring height ranged from 63 cm (backfire) to 74 cm (strip headfire), presenting a significative correlation with scorch height, fuel load, spread rate and fire line intensity. The correlation analysis between harvesting productivity and other variables (declivity, tree numbers and volumes) resulted a significative coefficient only for the volume in the experimental plots in the spring burning. The contrasts didn't show any differences among plot cutting productivities in all treatments. Pratically, the spring burnings didn't affect the soil chemical characteristics, when treatments were compared for each month only the carbon contents differed from control in the second month sampling. In the fall burnings the Ca⁺²+Mg⁺², H+Al, m (Al saturation) contents and the pH presented significative statistical changes during all the six collecting months after burning and the Al⁺³, C, T and P contents presented significative statistical differences among the treatments even before burning. The main changes observed were: the greater pH difference was 0,52 between first and seventh sampling in the backfire technique; there was a reduction in Al content from the initial content until the seventh month; H+Al presented a similar performance to aluminum; there was a tendency to reduce C content during the six sampling months after burning; T (CTC) was reduced after two season burnings. The spring burning presented greater changes between first and seventh sampling than fall burnings;

the control-plots presented a statistically significant difference; there was a tendency to reduction "m" values until the seventh collecting month; $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ tended to increasing content during the seventh collecting months; P presented a low increase after burning, but it was non-significant. The burning technique didn't influence sprouting height within each burning season. Analysing both seasons together, the spring backfire burning presented the greatest height thus differing statistically from all fall burning treatments. The burning treatments didn't influence the stock sprouting percentage neither the nutrient percentage (N, P, K, Ca and Mg) which were analysed from nine months old leaves. The tissue analysis conducted before and after fuel burning detected a significant decrease after burning for K in the two-season burning treatments and a Ca increase after burning, except for fall backfire burning.

1 INTRODUÇÃO

O fogo sempre foi um instrumento auxiliar na conquista de novas fronteiras, em todos os continentes, desde que foi dominado pelo homem. A sua ocorrência sobre as formações vegetais, originada das mais variadas causas, data de tempos remotos e tem nas descargas elétricas a principal fonte de ignição. Outras variáveis meteorológicas associadas com as de material combustível, que favorecem a ocorrência dos grandes incêndios florestais, conduziram à formação de uma linha de pensamento de que o fogo é um fenômeno natural e como tal tem um papel a cumprir sobre as comunidades vegetais, ao lado de outros fatores geográficos e atmosféricos.

No período da colonização, o número de usuários do fogo no meio rural era pequeno em relação à área total ocupada pelo homem. As catástrofes eram menos freqüentes e espacialmente dispersas. Além disto, a precariedade do sistema de comunicação provocava pouco impacto na sociedade e a condição de terra virgem, com alta fertilidade, promovia recuperação rápida do ambiente. Nos dias atuais, a situação é oposta e as comunicações de incêndios ou queimadas, divulgadas em nome da proteção da natureza, são geralmente feitas com forte carga emocional. O incêndio florestal aparece como um dos principais vilões de destruição. Entretanto, observa-se muita desinformação e desconhecimento relativos ao manejo do fogo como técnica, o que não acontece em países, que têm acumulado conhecimentos sobre o seu uso, principalmente no meio florestal.

A utilização dos recursos naturais é imperativa nos dias atuais. Entretanto, o homem não pode mais expandir suas fronteiras agrícolas da mesma forma como fazia em tempos não muito remotos. O manejo sustentável dos recursos naturais é a “ordem do dia”. Os procedimentos e as técnicas empregadas em alguns casos precisam ser melhorados e em outros exigem conhecimentos da pesquisa básica. Nesse contexto encontra-se o fogo, que, como técnica, é denominado queima ou fogo controlado, o qual o homem tem como opção desde os primórdios.

O setor florestal no Brasil é um dos mais importantes da área agrícola, chegando a competir em igualdade com outros de maior tradição, principalmente no campo da exportação.

Embora haja previsão de déficit de madeira em curto prazo, em razão da adoção de políticas ambientais mais rígidas e da reposição de povoamentos florestais abaixo da

demanda, as pesquisas têm dado a sua contribuição para o aumento da produtividade, qualidade e redução de custos.

A polêmica que envolve os efeitos provocados pelas queimadas ou pelos incêndios florestais, sobre qualquer vegetação, ocorre pela carência de estudos e pela falta de conhecimento das informações existentes. O desconhecimento inicia no próprio conceito de queima controlada e incêndio florestal.

Queima controlada é uma ação planejada, com objetivos claramente definidos, cujos efeitos são esperados dentro de limites aceitáveis. Todos os fatores relacionados com o comportamento do fogo devem ser conhecidos, para que os resultados negativos sejam mantidos dentro do mínimo possível. Ao contrário da queima controlada, o incêndio florestal é um evento casual, com efeitos imprevisíveis, porque sua ocorrência se dá sob condições de clima e de material combustível propícias para a combustão. Num incêndio florestal nenhuma variável está sob controle e pode resultar numa situação irreversível do sítio de ocorrência.

A utilização do fogo, como ferramenta auxiliar no meio florestal, tem sido objeto de estudo em vários países, bem como um procedimento cujo efeito é gerador de muita polêmica. Para as condições brasileiras tais estudos são, ainda, incipientes. Muitas pesquisas são necessárias para se conhecer as interrelações entre a técnica e a periodicidade de queima, as condições meteorológicas e o material combustível formado pela complexidade, que são as formações vegetais.

O presente estudo foi realizado para dar uma contribuição nesse sentido e teve os seguintes objetivos:

- determinar os efeitos provocados pela queima sobre a redução do material combustível;
- analisar os principais parâmetros do comportamento do fogo na vegetação estudada;
- avaliar algumas relações existentes na literatura como intensidade da linha de fogo, altura de carbonização e altura de crestamento para quantificar a queima controlada;
- avaliar os efeitos da queima controlada sobre o rendimento de corte das árvores de um povoamento de *Eucalyptus viminalis*;
- avaliar alguns efeitos provocados pela queima no solo, na emissão e na altura dos brotos;
- avaliar a técnica de queima mais adequada para as épocas de primavera e de outono.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O EMPREGO DO FOGO COMO TÉCNICA SILVICULTURAL

A lei dos incentivos fiscais, implantada a partir de 1966, deu um novo impulso na atividade florestal brasileira. A área reflorestada, representada quase que exclusivamente por eucaliptos e pinus, atingiu cerca de 6 milhões de hectares (REZENDE *et al.*, 1988). Deste total, a maioria era destinada à produção de carvão vegetal, de celulose e papel (CÁRCAMO ROMERO, 1985). Começaram a surgir, a partir daí, diversos tipos de problemas tais como pragas, doenças e incêndios florestais, em virtude dos extensos povoamentos homogêneos.

Um dos fatores que podem reduzir as causas de incêndio, em razão da presença do homem na floresta, é o progresso tecnológico. Decisões de eliminação do fogo das operações florestais têm sido tomadas por algumas empresas, por exemplo, sua substituição por equipamentos adaptados ou desenvolvidos exclusivamente para fazer a incorporação dos resíduos florestais, com a adoção do cultivo mínimo.

Em outros casos, tem sido demonstrado que o uso do fogo não é uma prática recomendável, como concluíram PEREIRA *et al.* (1980c) em experimento conduzido para avaliar o efeito do fogo na limpeza de cepas, em brotações de eucalipto. A eliminação do fogo como prática silvicultural, nestes casos, está contribuindo para a redução de uma causa potencial de incêndios florestais. ZEN (1988) considera premente a necessidade de eliminação total das queimadas em áreas de reforma de reflorestamentos e a introdução da incorporação do resíduo florestal.

Por outro lado, BROWN & DEBYLE (1987) salientam que a queima controlada pode oferecer, de maneiras econômica e ambientalmente aceitas, condições propícias para a recuperação de algumas florestas como as de *Populus tremuloides* Mirch. No passado, o fogo tinha um papel importante na perpetuação destas florestas, o que não ocorre atualmente. Uma queima controlada bem sucedida pode eliminar todos os indivíduos de uma área, mas, em contrapartida, o fogo estimula a emissão de brotos de tal forma que a floresta se recompõe com todo vigor. Entretanto, o sucesso de uma queima exige o

conhecimento do material combustível existente, responsável pela propagação do fogo e da intensidade necessárias para estimular a brotação das árvores.

2.1.1 Conceito de queima controlada

O conceito de queima controlada, segundo PYNE (1984), está integrado ao de manejo dos incêndios e relacionado com o atendimento de alguns objetivos do manejo florestal. A ignição para tal pode ser planejada ou não; de qualquer forma, o fogo deve ser mantido dentro de uma determinada área, obedecendo a uma série de propriedades preestabelecidas do seu comportamento. O que diferencia a queima controlada do incêndio florestal não são, na maioria das vezes, as propriedades físicas ou biológicas do fogo, mas o seu contexto cultural. A queima controlada facilita o manejo da terra, o incêndio não. Às vezes, esta diferença pode ser pequena e bastante variável, mas a distinção entre queima controlada e incêndio continua sendo cultural e não-natural.

A queima controlada é, sob alguns aspectos, um novo nome para uma velha prática. Mas, sob outros pontos de vista, ela significa a adaptação de velhas práticas aos novos objetivos. Na agricultura, por exemplo, a limpeza do terreno e a fertilização têm sido substituídas pela preparação do sítio, no contexto de plantações comerciais. As transformações surgidas derivaram da pesquisa em ecologia do fogo, na qual a queima podia ser biologicamente empregada naquelas formas de manejo extensivas ao invés das intensivas. E, em alguns poucos casos, novos usos têm sido desenvolvidos para novos propósitos, como é o caso da condução da queima natural controlada, por exemplo (PYNE, 1984).

WADE & LUNDSFORD (1990) definem queima controlada como a aplicação do fogo de uma forma racional, sobre um material combustível existente em uma área específica e sob determinadas condições de clima, visando à obtenção de objetivos bem definidos do manejo.

Segundo LUKE & McARTHUR (1977), a queima controlada, que também pode ser denominada queima prescrita, nada mais é que o emprego do fogo com habilidade, em material combustível natural, sob condições de clima, umidade de material combustível e de solo que permitam o confinamento do fogo em uma área predeterminada, dentro de uma

velocidade e intensidade apropriadas, a fim de atingir benefícios planejados, com o mínimo de danos e a um custo aceitável.

2.1.2 Usos do fogo

Por algum tempo o homem apenas considerou a possibilidade de controlar qualquer tipo de fogo. Para isto, os mais variados métodos e muitas técnicas foram desenvolvidos. Na prática, as situações drásticas de clima e de material combustível demonstraram que os métodos e as técnicas estão longe de possibilitar o domínio dos grandes incêndios. O fogo passou, então, a ser visto como um fenômeno integrado ao meio. WEBB & HENDERSON (1985) citam, por exemplo, o programa de queima controlada para o *Gila National Park*, visando reestabelecer o papel natural do fogo. Embora pudesse interferir na melhoria da estética, no hábitat da vida selvagem ou na redução da quantidade de material combustível, o único objetivo pretendido era o reestabelecimento do papel natural do fogo.

O uso do fogo somente pode ser recomendado quando as relações entre as diversas variáveis que afetam o seu comportamento, assim como os efeitos conseqüentes são conhecidos. Sem estes pré-requisitos básicos não se aconselha fazer uso da queima controlada, seja para fins silviculturais, seja para controle de incêndios (McARTHUR, 1962).

A queima controlada pode ser usada para vários fins no manejo florestal. Na prática, ela é classificada como: a) uso do fogo em pequenas áreas, para atender a objetivos específicos como, por exemplo, limpeza de margens de estradas e b) uso do fogo em áreas extensas. A queima controlada pode encerrar diversos objetivos individuais ou combinados. Se o objetivo principal é reduzir o acúmulo de material combustível, o efeito físico da redução é imediatamente acompanhado por outros efeitos como redução da intensidade do fogo, sob determinadas condições meteorológicas, redução da taxa de avanço do fogo, facilidade para construção de aceiros e linhas de fogo. A menor quantidade de material combustível dificultará, conseqüentemente, a ignição de novos focos de incêndio (McARTHUR, 1962).

Segundo o CANADIAN FORESTRY SERVICE (1975), a queima controlada é caracterizada por 4 principais objetivos: redução dos riscos de fogo nas áreas de colheita

florestal; melhoria das condições da terra para plantio ou regeneração natural; eliminação de espécies indesejáveis; e controle de surtos de pragas e doenças. MARTIN *et al.* (1977) citam, dentre outros objetivos, o emprego da queima controlada em áreas de colheita florestal para redução dos riscos de incêndios.

A queima controlada é uma técnica versátil, empregada para alcançar os mais diferentes objetivos. Entretanto, o seu maior emprego está relacionado com o manejo do material combustível, para reduzir os riscos dos grandes incêndios florestais. Dentre esses objetivos, MARTIN *et al.* (1977) citam que a redução dos riscos de incêndio envolve o manejo do material combustível, visando à redução da intensidade e da taxa de propagação do fogo, além de facilitar o combate aos incêndios florestais. Embora haja necessidade de se aprofundar estudos em diversos aspectos, a queima controlada pode ser o meio mais econômico e, em algumas situações, o mais efetivo para se conseguir determinados objetivos.

A queima controlada tem sido empregada, também, nos programas de treinamento de pessoal. O Sistema de Parques Estaduais da Califórnia tem utilizado tal técnica para a formação de manejadores de incêndios florestais, quando são treinados chefes de queima, especialistas, monitores e membros de equipe. A necessidade de pessoal treinado para a execução dos programas de queima tem sido reconhecida por diversos órgãos ligados ao setor agrícola (GAIDULA, 1985).

Inúmeros tipos de queima controlada, para a obtenção dos mais variados objetivos, podem ser encontrados, como o controle do sub-bosque nas florestas de pinus, da região Sul dos Estados Unidos, que são sensíveis à competição (BOYER, 1990); o melhoramento do hábitat do veado-de-rabo-preto (*Odocoileus hemionus columbianus*), como forma de compensação da redução do hábitat desse mamífero, em virtude da construção de reservatório de água (KIE, 1984); o manejo das áreas com ocorrência de *blue berry*, visando promover seu crescimento e sua produção, eliminando as espécies competidoras por meio da queima controlada (KAUTZ, 1987); o aumento da produção de água em bacias florestadas, pois, apesar da diferença entre um sítio e outro, a eliminação temporária da vegetação aumenta a água nos caudais (POTTS *et al.*, 1989).

Segundo BOYER (1990), o controle de espécies do sub-bosque é fundamental para o bom desenvolvimento de povoamento de pinus, principalmente para aquelas espécies mais sensíveis à competição. O fogo é um dos métodos mais baratos e eficientes para o controle

de espécies do sub-bosque que competem com o pinus. Além de ser eficiente, o fogo provoca menos danos à regeneração desta espécie se comparado aos métodos mecânicos ou químicos.

ANDERSON & POSEY (1987)¹, citados por COUTINHO (1990), mencionam que os Índios Kaiapós ainda usam o fogo como forma de manejo do cerrado, visando à limitação do desenvolvimento de certas espécies indesejáveis e ao estímulo de determinadas árvores nativas frutíferas.

De acordo com COUTINHO (1990), não existe nenhuma dúvida de que o homem é o principal responsável pela ocorrência do fogo na região de cerrados. Em datação feita com C^{14} , em fragmentos de carvão encontrados a 2 m de profundidade, na região de campo cerrado, em Pirassununga, SP, foi determinada a idade de 8.600 anos. Na região de Brasília, estudos semelhantes revelaram idade de 1.600 anos. GUIDON & DELIBRIAS (1986)², citados por aquele autor, mostram que o homem tem habitado a região central do Brasil a mais de 32.000 anos, estimativa 3 vezes superior à mais aceita nos meios científicos.

2.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL

Material combustível é todo tipo de matéria orgânica, viva ou morta, que se encontra no ambiente. Pode ser caracterizado de diferentes maneiras quanto à localização, composição química, aspecto físico, arranjo e continuidade. Segundo COUNTRYMAN (1964), os principais atributos da camada de material combustível considerados de importância são a continuidade (distribuição horizontal), o arranjo (distribuição vertical e horizontal, ambas casuais ou sistemáticas) e quantidade (peso de matéria seca de material por unidade de área).

COUNTRYMAN (1964) define partícula de combustível como a unidade individual da matéria orgânica que, no conjunto, forma a camada de material combustível. Seu tamanho é muito variável e é representada por folhas, ramos, galhos e troncos das árvores. As principais características ligadas ao processo da ignição e do comportamento do fogo

¹ ANDERSON, A.B.; POSEY, D.A. Reflorestamento indígena. *Ciência Hoje*, v. 6, p. 44-50. 1987.

² GUIDON, N.; DELIBRIAS, G. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32000 years ago. *Nature*, Lond, v. 321, p. 769-771. 1986.

são: geometria da partícula (forma e tamanho); superfície (rugosa, fissurada, lisa); conteúdo de umidade; composição química; gravidade específica; e absorção térmica.

2.2.1 Quantificação do material combustível

O inventário do material combustível, seja de origem natural, seja de restos da colheita florestal, é uma valiosa informação para os trabalhos de manejo da terra, para os planos de queima controlada e para o controle dos riscos potenciais a incêndios florestais (BROWN, 1974).

Um inventário eficiente de todo o material combustível e da vegetação de sub-bosque requer diversas técnicas, em virtude da variedade dos atributos físicos da vegetação. O material combustível florestal compreende as plantas vivas e mortas, ambas em posição vertical ou horizontal e variam em tamanho, como ervas, arbustos e árvores. As partes das árvores vão desde as pequenas folhas até o tronco como um todo. Por isto, vegetação com características físicas idênticas pode ser subdividida em árvores, arbustos, vegetação herbácea, serapilheira, matéria orgânica em decomposição e material lenhoso sobre o solo (BROWN *et al.*, 1982).

Para uma determinada condição climática a taxa de propagação do fogo está diretamente relacionada com a quantidade de material combustível disponível para a combustão. Assim, se a quantidade de material combustível aumentar 2 vezes, a taxa de propagação também crescerá e a intensidade do fogo poderá ser até 4 vezes maior, desde que as características do material combustível mantenham-se constantes (McARTHUR & CHENEY, 1966).

A quantidade de material combustível afeta todos os aspectos do comportamento do fogo, tais como taxa de propagação, intensidade, altura das chamas, altura de crestamento, formação do incêndio de copa, lançamento de fagulhas (*spot fire*) e, no conjunto, os danos resultantes da ação do fogo (McARTHUR & CHENEY, 1966). SOARES (1979a) acrescenta que, além dessa magnitude de danos, que é diretamente dependente da carga de material combustível, existe também maior dificuldade operacional de se quebrar a continuidade do material através da abertura de aceiros internos, no controle do fogo, em locais de grande quantidade de combustível.

Segundo BROWN *et al.* (1991), a predição da quantidade de material combustível sobre o solo e do material combustível lenhoso é essencial num planejamento de queima controlada. A remoção da camada orgânica e da biomassa lenhosa é freqüentemente necessária para reduzir os riscos de incêndio, preparar o solo para regeneração, eliminar vegetação indesejável e favorecer o ambiente para a espécie de interesse. Por outro lado, a manutenção da camada orgânica e do material lenhoso pode ser necessária para proteger o sítio das intempéries, aumentar a atividade microbiana, manter a produtividade do sítio a longo prazo e proteger o hábitat de pequenos animais. Assim, para se chegar a um termo comum entre tantos objetivos conflitantes, o consumo do material combustível deve ser competentemente planejado e executado.

De acordo com FINNEY & MARTIN (1993), medições precisas da carga de material combustível da superfície e o consumo durante uma queima controlada é fundamental para a compreensão dos efeitos do fogo sobre o solo e sobre as plantas. A quantidade total e a consumida (peso de matéria seca por unidade de área) delimitam a quantidade de energia do complexo de material combustível e a quantidade de calor liberada durante a queima, respectivamente.

No manual para inventário de material combustível e biomassa BROWN *et al.* (1982) recomendam que o combustível seja agrupado nas seguintes classes, com base na sua espessura ou diâmetro: 0-0,6 cm; 0,6-2,5 cm; 2,5-7,6 cm. Estas classes, de acordo com FOSBERG (1970), correspondem ao material combustível com tempo de resposta (*timelag*) de 1, 10 e 100 horas, respectivamente. Tempo de resposta à umidade é a quantidade de tempo para uma substância perder ou ganhar aproximadamente dois terços da umidade acima ou abaixo do seu conteúdo de umidade de equilíbrio.

A quantidade de material combustível consumido é uma variável difícil de ser estimada e normalmente requer medições de campo. Entretanto, com alguma prática, estimativas oculares podem fornecer resultados satisfatórios. A carga de material combustível natural depende muito das condições locais e pode variar de 5 até 50 t.ha⁻¹, em regiões onde não há ocorrência de incêndios florestais, há muitos anos (McARTHUR & CHENEY, 1966).

Segundo BROWN *et al.* (1982), há várias técnicas para inventariar o material combustível composto por vegetação herbácea. A estimativa de peso é feita basicamente por meio da coleta e pesagem do material, por estimativas oculares ou por intermédio dos

dois métodos juntos. Alguns trabalhos em pastagem têm demonstrado alta correlação entre o percentual de cobertura e a altura da vegetação com o peso por unidade de área. Em vegetação arbustiva, observações práticas têm demonstrado que quanto maior a variação entre tamanho e forma do material, menor será a precisão da estimativa. Os autores recomendam que, a menos que as relações sejam bem conhecidas, a coleta e a pesagem são necessárias.

A amostragem da serapilheira separadamente do material orgânico em decomposição é necessária porque este material é muito menos denso e frequentemente queima de maneira independente. O método mais preciso é por meio da coleta e pesagem de amostras do material. Algumas tentativas têm sido feitas com base nas características do povoamento (idade, tamanho de copa e área basal), apresentando alta ou baixa correlação com a quantidade de material combustível, dependendo do tipo de floresta. Entretanto, outros fatores como manejo silvicultural, queima ou incêndio ocorrido estão associados (BROWN *et al.*, 1982).

O método de coleta e pesagem do material lenhoso de maior dimensão não é prático. BROWN *et al.* (1982) recomendam o método não-destrutivo, denominado *planar intersect technique*, apresentado por BROWN (1974) e que tem os mesmos princípios teóricos do método desenvolvido por VAN WAGNER (1968). O segundo é mais rápido, mais barato e evita a coleta de grande quantidade de material combustível, pois consiste apenas da contagem das interseções de um plano vertical virtual com o material lenhoso sobre o solo e, posteriormente, o peso e volume são calculados para as classes de material combustível, mediante o emprego de fórmulas. Segundo FINNEY & MARTIN (1993), com este método presume-se que o material combustível queima do topo em direção ao solo mineral e que a densidade é constante com a espessura. Alguns autores mostraram que a primeira condição não é verdadeira em algumas circunstâncias e que a densidade pode aumentar com a espessura da camada orgânica. Mesmo que essas condições sejam verdadeiras, o consumo do material, dado em peso por unidade de área, pode não seguir um comportamento linear quando camadas mais densas e mais profundas são queimadas.

SOARES (1979a) observou, em um estudo de quantificação de material combustível em *Pinus* spp, que o volume em plantios mais jovens era bem maior, apesar do menor peso, pois era constituído basicamente por gramíneas secas. Em plantios mais velhos as acículas secas substituem as gramíneas, aumentando o peso e diminuindo o volume. Isto indica que

nos plantios jovens o potencial de intensidade de fogo é maior. Em material menos compactado o fogo se propaga mais rapidamente e, conseqüentemente, com mais intensidade, já que a velocidade de propagação é inversamente proporcional à densidade do material combustível.

FINNEY & MARTIN (1993) encontraram em seus estudos que os estratos de material combustível mais espessos estavam mais próximos das árvores e que, além disso, o material era menos denso, por causa da maior quantidade de serapilheira recente. Apesar da diferença em espessura e em densidade, os autores concluíram que a densidade média calculada para toda a área pode ser um bom estimador do consumo do material combustível.

O consumo de material combustível sobre a superfície do solo pode ser estimado através de medidas da espessura, tomadas antes e depois da aplicação do fogo, conforme método descrito por BEAUFAIT *et al.* (1975). Segundo BROWN *et al.* (1982), a interpretação da espessura do material combustível é uma tarefa complexa que requer bastante prática. Alguns modelos e algoritmos, desenvolvidos para predição da taxa de propagação e de outros parâmetros do comportamento do fogo, têm mostrado alta sensibilidade, resultando em grande erro na estimativa.

BOYER (1990) inventariou a quantidade de material combustível em povoamentos de pinus lançando, ao acaso, 5 parcelas quadradas de cerca de 30 cm de lado, para cada 600 m². A matéria orgânica era coletada, seca em estufa a 26 °C e pesada. O mesmo procedimento era repetido depois da queima, e o consumo de material combustível foi estimado por diferença.

O denominado método destrutivo de coleta de material combustível apresenta problemas com respeito à coleta de matéria mineral, principalmente da matéria orgânica que se encontra no solo. FINNEY & MARTIN (1993), para separar o material inorgânico dos estratos de material combustível mais próximos do solo mineral, utilizaram o procedimento de queima do material em mufla, por 2 horas, a 300 °C e mais 3 horas a 550 °C. As cinzas resultantes da queima foram esfriadas em dessecador, até temperatura ambiente, e pesadas em balanças com precisão de um centésimo de grama. BROWN *et al.* (1991) utilizaram este mesmo procedimento para estimar o conteúdo de matéria mineral.

2.2.2 Material combustível disponível

O principal fundamento do emprego da queima controlada é fazer uso do fogo tendo a umidade, tanto da camada orgânica que cobre o solo quanto dos componentes de maior dimensão, como fator controlador da intensidade. Desta forma, apenas parte da quantidade total de material combustível será consumida e a intensidade será mantida dentro dos limites previstos. Se o material combustível está seco o suficiente para queimar, será impossível fazer qualquer prática de uso do fogo em locais de grande acúmulo de material combustível, mesmo em condições meteorológicas amenas, sem causar grandes danos (McARTHUR & CHENEY, 1966).

Combustível disponível é a quantidade consumida em uma queima ou um incêndio. Suas características estão sujeitas a grande variação e, mesmo em condições relativamente uniformes, a quantidade disponível dependerá do conteúdo de umidade dos componentes individuais. Além da umidade, a quantidade consumida depende do arranjo do combustível e da duração do fogo. Quanto maior a duração e melhor o arranjo do combustível, mais efetiva será a transferência de calor, resultando em maior taxa de secamento e, conseqüentemente, ignição mais rápida dos componentes do combustível de maior dimensão (McARTHUR & CHENEY, 1966).

O consumo de matéria orgânica é usualmente expresso pela redução de sua espessura, pela percentagem de redução de sua espessura e pela percentagem de exposição do solo mineral. Estes termos podem ser utilizados para diferentes propósitos como o atendimento dos objetivos de uma determinada queima controlada. Entretanto, a literatura tem mostrado que os modelos desenvolvidos para predição do consumo da camada de matéria orgânica e do material combustível lenhoso podem variar consideravelmente e que o tipo de vegetação pode influenciar a natureza das relações de consumo (BROWN *et al.*, 1991).

2.2.3 Umidade do material combustível

VINEY & HATTON (1989) mencionam que a velocidade do vento e o conteúdo de umidade do material combustível são as 2 variáveis empregadas na caracterização do comportamento do fogo que apresentam maior variabilidade no período de 24 horas.

Durante as operações de controle do fogo, as medições diretas do conteúdo de umidade não são práticas, em virtude das dificuldades associadas com o tempo gasto nas medições, dos equipamentos, da localização do fogo e dos custos envolvidos. Por isso, eles justificam o desenvolvimento de modelos para determinação do conteúdo de umidade como parâmetros ambientais de fácil medição.

Um dos conceitos com aplicação considerável na modelagem do conteúdo de umidade é a umidade de equilíbrio, o qual se refere ao conteúdo de umidade de uma partícula de combustível cuja pressão de vapor de água é equivalente àquela do ambiente em que se encontra. Dessa forma, essa variável assim definida tem uma dependência da temperatura e umidade relativa do ar e, em menor extensão, do tipo de combustível (VINEY & HATTON, 1989).

BROWN *et al.* (1991) citam que a predição do consumo do material combustível em decomposição requer a estimativa do seu conteúdo de umidade e da umidade do material combustível de maior dimensão. A umidade é muito variável e, na prática, a amostragem possivelmente não representa toda a área, além da coleta de fração mineral juntamente com a fração orgânica. Por causa dessas dificuldades os autores sugerem o uso dos índices de perigo de fogo, os quais eliminam vários erros existentes nos outros métodos de estimativas. Os autores concluem que mais pesquisas básicas são necessárias para unificar os conhecimentos sobre consumo de material combustível, tendo em vista a grande variedade das características do material combustível e das condições ambientais.

O material combustível não responde instantaneamente às mudanças ocorridas na umidade do ambiente. A taxa na qual o equilíbrio é atingido é definida pelo conceito “tempo de resposta”, o qual é o tempo gasto para que uma partícula de combustível atinja uma variação de 63 % de sua última mudança como resposta ao gradiente de pressão de vapor entre o combustível e a atmosfera. O conceito “tempo de resposta” tem sido utilizado por vários autores para a classificação do material combustível, ou seja, o material que responde mais rapidamente às variações do ambiente é denominado tempo de resposta, *timelag*, de 1 hora. Este material é o que tem recebido maior atenção na modelagem do material combustível, pelo fato de o combustível fino ser o responsável pela taxa de propagação do fogo (VINEY & HATTON, 1989).

HATTON *et al.* (1988) mostraram que a umidade do solo pode exercer considerável influência na umidade do material combustível que se encontra sobre ele. O grau de

condensação noturna tem apresentado dependência significativa da camada de solo que se encontra abaixo, ou seja, maior condensação ocorre quando o solo está mais úmido. O tipo de material combustível também está diretamente relacionado com a absorção de umidade do solo. Folhas, ramos e galhos finos se ajeitam mais facilmente próximo ao solo que ramos e galhos maiores e casca das árvores. Estas, por ter a maior parte de sua superfície em contato com o vento, são mais apropriadas para avaliação do equilíbrio de sua umidade com a umidade atmosférica.

2.2.4 Composição química e poder calorífico do material combustível

A diferença entre as espécies, dentro de uma espécie e até mesmo dentro de um mesmo indivíduo, com relação à composição química, é resposta à interação de fatores genéticos e ambientais. A composição química de uma árvore varia ao longo do tronco e do centro do tronco em direção à casca, em razão da idade e da estação de crescimento (BROWNING, 1963).

Espécies do gênero *Eucalyptus* normalmente apresentam altos teores de cinza, pelo fato de, na fase juvenil, absorverem elevadas quantidades de elementos minerais para suprir suas necessidades fisiológicas. Esses elementos são armazenados na lamela média, nas paredes celulares e nas cavidades das células (CROW & LUCAS, 1988).

TRUGILHO (1995) encontrou os seguintes valores de teor de cinza para espécies de eucalipto aos 7 anos de idade: *Eucalyptus maculata* 0,682 %, *E. pellita* 0,486 %, *E. tereticornis* 0,496 %, *E. urophylla* 0,338 %, *E. cloeziana* 0,216 % e híbrido de *E. grandis* com *E. urophylla* 0,288 %. Outros valores foram encontrados para essas mesmas espécies em outras idades como *E. grandis* aos 3 anos de idade 0,710 % e *E. cloeziana* aos 4, 8 e 9 anos de idade de 0,11, 0,196 e 0,154 %, respectivamente.

Segundo TSOUNIS (1991), a composição química da madeira é complexa mas uma análise geral indica não haver diferenças substanciais entre as espécies. Em termos gerais a madeira possui cerca de 49-50 % de carbono, 44-45 % de oxigênio, 6 % de hidrogênio, 0,1-1 % de nitrogênio e 0,4-0,5 % de compostos minerais. Embora pequeno, o conteúdo de componentes minerais inclui óxidos de cálcio, potássio, fósforo, magnésio, dentre outros,

sendo, geralmente, inferior a 1% em madeiras de zonas temperadas e ligeiramente superior em madeiras de climas tropicais.

Em se tratando de madeira do gênero *Eucalyptus*, a quantidade de cinza, que é um reflexo direto do conteúdo mineral presente na madeira (ANDRADE, 1993), raramente chega a 1 % do seu peso de matéria seca. Apesar desse baixo percentual em relação aos demais, TRUGILHO (1995) concluiu em seu trabalho que o teor de cinza e a largura das fibras foram as características da madeira que mais contribuíram para a divergência genética entre várias espécies de eucalipto, no estudo de avaliação da qualidade da madeira. Para a qualidade do carvão, as variáveis que mais contribuíram foram o teor de cinza e a densidade relativa aparente.

De acordo com McARTHUR & CHENEY (1966), o calor de combustão apresenta uma variação pequena para diferentes tipos de material combustível e está sob a influência do conteúdo de umidade e pode não produzir todo o calor armazenado se a combustão for incompleta, como ocorre nos incêndios de alta velocidade e intensidade.

TRUGILHO (1995) encontrou valores de poder calorífico superior variando de 4.248,12 kcal.kg⁻¹, para *Eucalyptus maculata* aos 7 anos de idade, a 4.632,20 kcal.kg⁻¹ para *E. resinifera* aos 4 anos de idade, dentre várias outras espécies e híbridos do mesmo gênero em diferentes idades. A espécie que apresentou maior conteúdo de cinza foi o *E. grandis*, com 3 anos de idade, provavelmente por possuir, ainda, uma elevada proporção de madeira juvenil, comparada à adulta.

2.3 VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Tomando por base o critério da energia calorífica envolvida na queima, o comportamento do fogo pode ser descrito por meio de diversas variáveis como taxa de dispersão, altura das chamas, altura de crestamento, queima subterrânea, incêndio de copa e outros. Uma queima pode ser descrita como “quente” ou “fria”, “lenta” ou “veloz”. Entretanto, são expressões qualitativas e não indicam o potencial de danos da queima. Portanto, é fundamental a utilização de métodos quantitativos para a descrição e caracterização do fogo, seja um incêndio florestal, seja uma queima controlada, para melhor

definição do seu comportamento e associação com os efeitos sobre a vegetação, o solo e a microfauna (McARTHUR & CHENEY, 1966).

STOCKS (1989) cita que a ausência de informações quantitativas sobre o comportamento dos incêndios florestais tem forçado os manejadores a fazerem julgamentos puramente qualitativos. Durante um incêndio, não é fácil fazer qualquer avaliação ou medição, por causa da dificuldade de acesso ou de controle do fogo. A queima experimental é uma boa alternativa porque ela permite o planejamento do grau de amostragem e de monitoramento, o que é impossível durante um incêndio. Assim, a fusão das informações gerais obtidas dos incêndios florestais com as das queimas experimentais, fornece o melhor e mais prático método de modelagem do material combustível.

Segundo McARTHUR & CHENEY (1966), BYRAM (1959) foi o primeiro a reconhecer a necessidade de uma definição precisa das variáveis do comportamento do fogo. Ele introduziu termos como energia do combustível disponível, energia total do combustível, intensidade de queima, taxa de combustão e intensidade total do fogo. Todas essas variáveis podem ser usadas para definir a combustão e o comportamento do fogo, a fim de estabelecer unidades de medição, as quais poderão ser usadas posteriormente de forma mais generalizada.

McARTHUR & CHENEY (1966) citam que 4 fatores principais devam ser considerados, antes que possíveis efeitos do fogo sobre a vegetação possam ser descritos: frequência de queima, duração e intensidade da queima, características da camada de material combustível e características do solo e da vegetação.

2.3.1 Intensidade da linha de fogo

De acordo com McARTHUR & CHENEY (1966), o conceito relativo à energia ou à intensidade do fogo, desenvolvido por BYRAM (1959), é uma das mais completas descrições de uma queima e tem grande significado em termos dos danos que o fogo pode causar sob condições específicas em uma série de circunstâncias. Intensidade de queima é a taxa de energia liberada por unidade de tempo e por unidade de comprimento da linha frontal, representada pela seguinte expressão:

$$I = H \cdot w \cdot r$$

em que

I = intensidade de queima da linha frontal, em $\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$;

H = poder calorífico do material combustível, em kcal.kg^{-1} ;

w = peso do material combustível disponível, em kg.m^{-2} ; e

r = taxa de avanço do fogo, em m.s^{-1} .

Portanto, a estimativa de I requer medições da carga de material combustível, da velocidade de propagação do fogo e do poder calorífico. De acordo com JOHNSON (1982), em condições de material desuniforme, diferentes técnicas de observação, procedimentos de amostragem e tratamentos estatísticos contribuem para uma ampla variação natural dos valores de I .

Em um incêndio florestal, a intensidade pode variar de 4 até cerca de $25.000 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Entretanto, até $82 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ pouco dano é causado às árvores, embora algumas modificações ecológicas possam ocorrer. Entre 83 e $413 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ alguns danos físicos podem ser causados às árvores de eucaliptos e pinus, chegando à morte das espécies mais sensíveis, e entre 414 e $827 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$, danos físicos à copa e aos troncos das árvores são inevitáveis. Perda de incremento pode ocorrer nas espécies mais sensíveis. Plantas novas de até $5,5 \text{ m}$ podem ser mortas. Árvores de *Pinus radiata*, por exemplo, suportam cerca de $827 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ no máximo, sem causar morte de alguma árvore, enquanto árvores de *P. elliottii* podem suportar intensidade de calor entre 827 e $1.654 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ sem causar morte em árvores maduras; entretanto, uma perda de incremento pode ocorrer durante 2 ou 3 anos (McARTHUR & CHENEY, 1966). Os danos físicos causados às árvores são muito variáveis, uma vez que cada espécie possui um nível de tolerância ao calor. Enquanto o sub-bosque de uma floresta pode morrer após uma queima controlada ou um incêndio, a maior parte pode sobreviver por meio do estímulo à regeneração ou da quebra de dormência das sementes.

MIRANDA *et al.* (1996) registraram velocidade da frente de fogo ao realizarem queima controlada em área de cerrado, da ordem de $0,13$, $0,42$, $0,15$ e $0,64 \text{ m.s}^{-1}$ em 4 queimas diferentes, resultando numa intensidade da frente de fogo de 1.390 , 5.889 , 1.256 e $8.134 \text{ kJ.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, respectivamente (ou 332 , 1.407 , 300 e $1.943 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$).

A taxa de propagação do fogo é, raramente, um fenômeno regular; suas dimensões variam tanto no espaço quanto no tempo. No conjunto, esses fenômenos resultam em análises estatísticas inconsistentes e vulneráveis (JOHNSON, 1982). De acordo com McARTHUR & CHENEY (1966), a velocidade de propagação do fogo também é muito variável, podendo ser de 0,00508 a 1,016 m.s⁻¹ nos casos de queima controlada em eucaliptos ou de 0,00508 a 6,096 m.s⁻¹ em incêndios de vegetação não-arbórea.

McARTHUR & CHENEY (1966) observam que a intensidade da linha de fogo é calculada para a linha frontal e que a intensidade nas laterais e na retaguarda é muito menor, em virtude da menor velocidade de propagação. A linha de fogo frontal geralmente abrange de um terço à metade da área queimada. Portanto, as estimativas dos danos, feitas a partir do cálculo da intensidade da linha de fogo, não podem ser aplicadas ao incêndio como um todo.

Algumas vezes a intensidade da linha de fogo é estimada através da correlação com o comprimento ou a altura das chamas, conforme mostrado por JOHNSON (1982), NELSON Jr. & ADKINS (1986), ROTHERMEL & DEEMING (1980) ou com a altura de carbonização, TOZZINI & SOARES (1987). Entretanto, JOHNSON (1982) salienta que um fenômeno transitório (chamas) está sendo usado para estimar outro altamente variável (I), mas nenhum deles é de fácil medição no campo.

BROWN & DEBYLE (1987 e 1989) chamam a atenção para a diferença entre os termos severidade e intensidade de queima. Severidade refere-se ao efeito total do fogo sobre o ecossistema, incluindo o consumo de matéria orgânica e mortalidade das plantas e dos organismos do solo. Segundo RYAN & NOSTE (1985), isso é importante porque relaciona o pulso de calor no sentido vertical em direção ao solo e que, qualitativamente, é descrito como profundidade de queima. Alta severidade de queima resulta maior fluxo de calor para o solo, porque a matéria orgânica, apesar de isolante, é consumida. A intensidade de queima, ao contrário, descreve o pulso de calor no sentido vertical ascendente e é freqüentemente descrita por meio da intensidade da linha de fogo desenvolvida por BYRAM (1959).

2.3.2 Altura de carbonização

Altura de carbonização corresponde à marca deixada pelas chamas no tronco das árvores. A sua determinação é importante pelo fato de ser uma resposta direta da ação do fogo sobre o tronco e permite fazer correlação com outras variáveis, objetivando a avaliação dos efeitos do fogo.

TOZZINI & SOARES (1987) concluíram em um estudo sobre avaliação de danos causados por incêndios florestais, em povoamentos de *Pinus taeda*, que a altura das chamas, estimada pela altura de carbonização das cascas das árvores, foi um bom parâmetro para a estimativa da intensidade do fogo.

Em observações de campo, TOZZINI & SOARES (1987) estabeleceram 4 níveis de queima em incêndio num povoamento de *Pinus taeda*. Com base na altura de carbonização das cascas das árvores puderam estimar vários parâmetros do comportamento do fogo como intensidade de queima, empregando a equação de Byram, modificada por ROTHERMEL & DEEMING (1980), altura de crestamento pela equação proposta por VAN WAGNER (1973) e percentual de queima em relação à altura da árvore, o qual foi associado à altura das chamas. No primeiro nível foi observada, em campo, uma queima superficial sem crestamento das copas e, no nível mais intenso de queima, notou-se consumo total das copas pelas chamas. As estimativas foram, respectivamente, de 0,85 e 11,38 m para altura de queima, 44,3 e 12.345,6 kcal.s⁻¹.m⁻¹ de intensidade do fogo e 1,4 e 167,0 m para a altura de crestamento.

2.3.3 Altura de crestamento

Acima de qualquer superfície onde está ocorrendo uma queima, existe uma área de aquecimento dentro da qual a copa pode estar incluída e ser afetada pelos gases aquecidos, que se desprendem da combustão. Em povoamentos de pinus este efeito é bem estudado e indica que a principal causa de morte das árvores está relacionada com o crestamento da copa e não com danos provocados ao câmbio, próximo ao solo, conforme verificado por

COOPER & ALTOBELLIS (1969)³, citado por VAN WAGNER (1973). Qualquer cicatriz deixada nos troncos das árvores pode ter algum efeito no valor econômico, mas diretamente não afeta a sua saúde ou a taxa de crescimento. Para que uma árvore possa ser morta através de injúrias no tronco, toda a sua circunferência deve ser danificada. Entretanto, quando a queima é de alta intensidade a copa estaria completamente crestada antes que tal injúria tivesse ocorrido (VAN WAGNER, 1973).

De acordo com VAN WAGNER (1973), a temperatura tomada em qualquer ponto da coluna de convecção acima de uma queima depende da intensidade da fonte de calor, da temperatura ambiente e da velocidade do vento. Para uma dada intensidade, quanto maior a velocidade do vento, mas baixa será a temperatura letal. A altura de crestamento letal está diretamente relacionada com a intensidade da linha de fogo, elevada à potência de 2/3. O autor menciona 3 equações, que poderiam ser utilizadas com sucesso, quando empregadas de acordo com as condições atmosféricas. Se a temperatura do ar ou a velocidade do vento diferem acentuadamente da média, então o modelo apropriado deve ser usado.

2.3.4 Energia liberada

ROTHERMEL & DEEMING (1980) diferenciam energia liberada por unidade de área da intensidade da linha de fogo, relacionando a intensidade de queima com o comprimento das chamas. A intensidade deve ser usada para predizer os efeitos do fogo a partir dos gases liberados acima das chamas. Energia liberada por unidade de área deve ser usada para medir os efeitos do fogo provocados na superfície e relacioná-los com os produzidos no solo e na camada de matéria orgânica.

A energia liberada por unidade de área pode ser calculada pela intensidade da linha de fogo, conforme a expressão:

$$H_a = \frac{I}{r}$$

³ COOPER, R.W.; ALTOBELLIS, A.T. Fire kill in loblolly pine. **Fire Control Notes**, v. 30, n. 4, p. 14-15. 1969.

em que

H_a = quantidade de energia liberada por unidade de área, em kcal.m^{-2} ;

I = intensidade da linha de fogo, em $\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$; e

r = velocidade de propagação do fogo, em m.s^{-1} .

Para uma mesma intensidade da linha de fogo, quanto maior a velocidade de propagação menor quantidade de calor será dirigida para o sítio e, ao contrário, quando o fogo está se movimentando lentamente, para uma intensidade de queima igual ao do primeiro caso, ele concentrará considerável quantidade de calor sobre o sítio (JOHNSON, 1982).

2.4 EFEITOS DO FOGO

Os efeitos provocados pelo fogo na vegetação, no solo, na água, na fauna e na atmosfera geram muita controvérsia. A principal razão é o grande número de variáveis envolvidas no processo, originárias de diversos fatores como o solo, com suas diferentes estruturas físicas e químicas; o material combustível, com a enorme variabilidade dos parâmetros que o caracteriza (umidade, quantidade, tamanho, composição química, arranjo e distribuição); e o clima, como agente modificador do material combustível. Comparações generalizadas são arriscadas por não considerarem o meio como meso ou micro escala. O fogo afeta todos os fatores do ambiente, em menor ou maior proporção, e, por ser dependente de muitas variáveis, faz com que os resultados de um incêndio nunca sejam iguais aos de outro.

2.4.1 Efeitos do fogo sobre o solo

No Brasil, os trabalhos de pesquisa relativos aos efeitos das queimadas e dos incêndios florestais sobre as propriedades físicas e químicas do solo são muito reduzidos. Estudos mais detalhados são encontrados apenas para a região do cerrado. De modo geral, pouco se conhece a respeito dos efeitos do fogo nas propriedades físico-químicas do solo,

tais como liberação direta e indireta de elementos minerais, volatilização de alguns nutrientes, provocada pela alta temperatura durante a queima e redução da cobertura vegetal, possibilitando o aumento da insolação no solo e, conseqüentemente, da temperatura média.

SWANSON (1981) cita que o fogo, juntamente com os processos geomórficos e com as formas da terra, é que determinam os padrões naturais do ecossistema e da paisagem. O relevo afeta o comportamento do fogo e forma barreiras que marcam os limites da queima. As consequências geomórficas são caracterizadas pelo regime do fogo, principalmente freqüência e intensidade e pela sensibilidade geomórfica ou erodibilidade do terreno.

Os efeitos do fogo sobre as características do solo, segundo WADE & LUNDSFORD (1990) e DE BANO *et al.* (1979), dependem de diversos fatores, como freqüência ou periodicidade, duração e intensidade. Considerando a grande interação de variáveis do ambiente, bem como as características inerentes a cada ecossistema, COSTA & CARMO (1983) concluíram que os resultados sobre as transformações físicas, químicas e biológicas, relacionados com a ação do fogo, são aparentemente discrepantes, tendo em vista que os dados obtidos não são sistematizados, de modo que se possam fazer comparações e extrapolações.

Os solos bem agregados têm condições físicas favoráveis à utilização de implementos agrícolas, à drenagem, ao arejamento e ao melhor regime umidade-ar. Tais condições propiciam o crescimento e a sustentação das raízes e melhor atividade microbiótica (GROHMANN, 1975; HARRIS *et al.*, 1966). Embora os agregados ocorram naturalmente, eles podem ser formados ou destruídos sob certas condições, por meios artificiais ou não, tais como o fogo (HARRIS *et al.*, 1966; SUAREZ DE CASTRO, 1957).

a) Aquecimento do solo

A ocorrência de um incêndio florestal e a realização da queima controlada estão estreitamente relacionadas com 3 fatores que envolvem uma série de variáveis do comportamento do fogo. Estes fatores são o material combustível, as condições meteorológicas e o relevo. A combinação desses 3 fatores é que determina o grau de

queima e, conseqüentemente, os efeitos causados pelo fogo. COUTINHO (1990) argumenta que o grau de aquecimento do solo durante a queima vai depender da quantidade de material combustível por unidade de área, da umidade desse material e da umidade do solo. Quanto mais seco for o material combustível, mais rápida será a queima e menor será o tempo de exposição do solo a altas temperaturas. Em solos úmidos o aquecimento será menor devido ao maior calor específico e melhor condução térmica; a evaporação da água, por outro lado, reduz os efeitos de aquecimento.

A camada superior do solo é a mais susceptível às alterações causadas pelo aquecimento, que é, muitas vezes, maior durante a queima, resultando conseqüências imprevisíveis para o sistema. Segundo BROWN & DAVIS (1973), do total de energia liberada, cerca de 70 a 80% é transmitida por convecção e o restante é transmitida para as camadas mais profundas, por meio da irradiação e condução, provocando o aquecimento do solo numa escala decrescente, porque o solo é pobre em condução de calor.

SOARES (1985) também afirma que apesar de o calor gerado pelo fogo não penetrar imediatamente no solo, a camada superficial sofre mudanças significativas com a variação da temperatura, devido à grande presença de microrganismos e de matéria orgânica, afetando, inclusive, sua estrutura coloidal.

Mesmo que a temperatura máxima de um fogo possa ser facilmente medida, ela não caracteriza uma relação dinâmica entre o tempo de aquecimento do solo e a temperatura do fogo. Incêndios distintos podem apresentar a mesma temperatura máxima, mas diferentes tempos de aquecimento (DE BANO *et al.*, 1979). Durante um incêndio florestal, a temperatura da superfície do solo ou mesmo abaixo dela não depende apenas da intensidade, mas também do tempo de permanência do fogo, o qual determinará o grau de alteração das propriedades do solo e de todas as formas vivas a ele associadas.

AUSTIN & BAISINGER (1955)⁴, citados por SOARES (1985), concluíram que os efeitos físicos e químicos causados aos solos, pela queima de resíduos da colheita florestal, chegam até ao limite de 5 cm de profundidade e, geralmente, concentram-se nas camadas de 1,5 a 2,5 cm. FASSBENDER (1975) encontrou, em termos médios, temperaturas de 100 °C, 60 °C e 40 °C a 3 cm, 10 cm e 20 cm de profundidade, respectivamente.

⁴ AUSTIN, R.C.; BAISINGER, D.H. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. *Journal of Forestry*, Bethesda, v. 53, p. 275-250, 1955.

COUTINHO (1976)⁵, citado por COUTINHO (1980), registrou em queimas experimentais na região de cerrado temperatura de 74 °C à superfície do solo. À profundidade de 1, 2 e 5 cm o aquecimento foi bem menor, sendo que nessa última profundidade a temperatura elevou-se a apenas alguns graus.

CESAR (1980)⁶, citado por COUTINHO (1990), registrou temperatura extremamente alta (280 °C), a 1 cm de profundidade do solo, em queima experimental realizada em áreas de campo sujo na região de Brasília, DF. Entretanto, aquela autora não registrou nenhuma elevação de temperatura em outras áreas, para a mesma profundidade, verificando-se que a alta temperatura registrada não foi uma ocorrência comum.

De acordo com CASTRO NEVES & MIRANDA (1996) foram registradas temperaturas durante a queima de 52,8 °C, 26,6 °C e 22,3 °C a 1, 5 e 10 cm de profundidade, respectivamente, em solo de um campo sujo de cerrado, na região de Brasília. Os autores concluíram que, depois da queima, com o consumo da biomassa, o solo tornou-se exposto e enegrecido, resultando em maior absorção de energia e queda no albedo. A absorção de energia adicional gerou uma alteração no regime térmico do solo, representado pelo aumento das amplitudes das temperaturas, principalmente a 1 cm de profundidade.

b) Propriedades físicas do solo

Os efeitos do fogo nas propriedades físicas do solo estão diretamente relacionados com a quantidade de matéria orgânica. Ela contribui para melhorar os agregados e a estrutura do solo, dando consistência às partículas individuais e formando grandes poros que facilitam a penetração da água e do ar (DE BANO *et al.*, 1979).

De acordo com COSTA (1990), a textura é uma propriedade do solo que deve merecer atenção quando se deseja utilizar a queima controlada. Os solos mais arenosos têm, geralmente, menor capacidade de troca catiônica, estando sujeitos à perda de bases liberadas pela queima. Esse tipo de solo, de modo geral mais permeável, contribui para o

⁵ COUTINHO, L.M. (1976). *Contribuição ao papel ecológico das queimadas na floração de espécies do cerrado*. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (Tese de Livre-Docência, xerox).

⁶ CESAR, H.L. *Efeitos da queima e corte sobre a vegetação de um campo sujo na Fazenda Água Limpa-D.F.* Msc thesis, Univ. Brasília, Brasília, D.F.

aumento das perdas de elementos químicos solúveis em água. Os solos tropicais geralmente apresentam baixa capacidade de troca catiônica, são muito permeáveis e têm reserva limitada de nutrientes. A queima, nesses casos, torna-se uma prática muito arriscada.

A matéria orgânica pode ser removida pela queima, causando o rompimento de ligações dos compostos orgânicos com a argila. Por isso, o efeito do fogo em solo arenoso tende a ser mais drástico, em razão da maior permeabilidade (COSTA, 1990; COSTA & CARMO, 1983). Por outro lado, o solo tem característica isolante e somente em condições extremas de queima, com produção de altas temperaturas, pode haver tais alterações.

Em trabalho desenvolvido por ARAÚJO (1992), em Latossolo Vermelho-Amarelo, relativo à percolação do solo, foi verificado que a queima promoveu quebra de agregados e carreamento das frações menores e da argila dispersa em água, para camadas mais profundas.

c) Propriedades químicas do solo

O fogo afeta tanto as propriedades químicas quanto a disponibilidade de nutrientes do solo. As propriedades mais afetadas são matéria orgânica, pH, capacidade de troca catiônica, nitrogênio, enxofre, cátions divalentes e potássio (COSTA, 1990; COSTA & CARMO, 1983; DE BANO *et al.*, 1979; DE BANO *et al.*, 1977).

Em solos que apresentam alta permeabilidade, a perda de nutrientes solúveis contidos na cinza, por lixiviação, pode atingir proporções elevadas, tornando-se a queima uma prática arriscada em termos de conservação de nutrientes (COSTA, 1990). Assim sendo, a permeabilidade do solo é um importante parâmetro a observar antes de se fazer a queima controlada, podendo, em casos extremos, não ser recomendada.

Quando a matéria orgânica é destruída, os nutrientes liberados tornam-se altamente disponíveis no solo, podendo ser aproveitados pelas plantas, perdidos através da erosão e da fumaça. A capacidade de troca catiônica pode diminuir devido a queima e pode permanecer a baixo nível durante, no mínimo, um ano, porque o local da troca é a matéria orgânica. Os nutrientes liberados são depositados na superfície do solo. DE BANO *et al.* (1979), fazendo comparação entre área queimada e não-queimada, encontraram maior concentração de sulfato acetato-solúvel, fósforo, potássio, nitrogênio total, nitrogênio

amônia e nitrogênio nitrato na área queimada. O aumento na solubilidade de cátions depois da queima é responsável pelo aumento do pH após o fogo, principalmente na camada superior do solo e na camada de cinzas (COSTA, 1990; DE BANO *et al.*, 1979). Vários trabalhos mostram que a melhoria do solo depois da queima de leiras é bastante significativa e pode ser a principal causa do rápido crescimento de plantas nessas áreas conforme verificado por BARROS *et al.* (1982) e BALLONI (1978).

O nitrogênio é um fator limitante no crescimento das plantas. Embora seja facilmente volatilizado na forma orgânica durante a queima, não significa que a quantidade disponível para as plantas diminua, porque a maior parte perdida na queima seria também perdida sem a queima, através da decomposição do material orgânico (SOARES, 1985).

TOMKINS *et al.* (1991), estudando os efeitos da queima em solos com eucaliptos observaram, a curto prazo (cerca de 6 meses), mudanças no NH_4^+ , K^+ e Mg^+ trocáveis e, a longo prazo (2 anos ou mais), variações no pH, P total e disponível e Ca^{+2} trocável na profundidade de 0-2 cm do solo. As mudanças na química do solo tiveram forte correlação com a quantidade total de material combustível e a quantidade queimada.

Segundo DE BANO *et al.* (1979), o nitrogênio contido tanto na camada da serapilheira quanto na parte aérea das plantas pode ser transportado para a atmosfera por meio da volatilização. Em temperatura acima de 500 °C, 100 % de nitrogênio da serapilheira e das plantas podem ser volatilizados. Entre 400 e 500 °C, de 75 % a 100 % podem ser perdidos. Entre 300 °C e 400 °C, a perda do nitrogênio pode ser de 50 % a 75 % e entre 200 °C a 300 °C, a perda pode ser em torno de 50 %. Abaixo de 200 °C nenhuma perda mensurável ocorre. Com respeito à vegetação aérea, foi observado que árvores inflamam a uma temperatura aproximada de 427 °C e que a temperatura pode chegar a 1.093 °C.

DE BANO *et al.* (1979), estudando a quantidade de nitrogênio total a 2 cm de profundidade na serapilheira e na camada superficial do solo, determinaram que 80 % do material foi destruído quando a temperatura na superfície do solo atingiu 825 °C; 40 % quando atingiu 600 °C e 20 % quando atingiu a temperatura de 486 °C. O autor sugere que esta relação pode ser aplicada para estimar as perdas de nitrogênio quando as temperaturas das queimas são conhecidas.

Segundo WADE & LUNDSFORD (1990), o fogo retira a camada protetora do solo, expondo sua superfície à incidência direta dos raios solares. Com isso, a temperatura média aumenta e estimula o crescimento de bactérias, algas e fungos fixadores de nitrogênio como *Azotobacter*, *Clostridium* e *Rhizobium*. Além desses, são estimuladas, também, as colônias de *Nitrosomonas*, que transformam a amônia (NH_3), um dos resíduos originados da decomposição da matéria orgânica, em nitrito (NO_2), e as de *Nitrobacter*, que transformam o nitrito (NO_2) em nitrato (NO_3), forma esta utilizada pelas plantas verdes. Em algumas condições a queima aumenta a fixação de nitrogênio no solo em proporção que compensa a perda para a atmosfera.

Segundo SOARES (1985), quando a matéria orgânica é queimada, as substâncias nela contidas, que são liberadas em forma de óxidos ou carbonatos, apresentam, normalmente, reação alcalina. É de se esperar que a acidez do solo diminua, quando estas substâncias (cinzas) são depositadas no solo. JURGENSEN *et al.* (1981) verificaram que houve um aumento superior a uma unidade do pH na camada orgânica da superfície do solo depois da queima e que após um ano este valor ainda era superior ao observado antes do uso do fogo. BARROS *et al.* (1982) observaram aumento acentuado no teor dos elementos essenciais do pH e do carbono oxidável do solo, em razão da queima do material enleirado, em plantio de eucaliptos com 4 e 5 anos de idade. SERTSU & SANCHES (1978) e FASSBENDER (1975) detectaram aumento nos teores de alumínio trocável e fósforo disponível após o aquecimento do solo.

MAGGS (1988) verificou que a biomassa e as quantidades de N, K, Na e Mg foram significativamente mais baixas nos solos queimados da floresta de *Pinus elliottii* durante 1,5 a 2,5 anos. Entretanto, a concentração de Ca e de P não foi muito diferente entre os tratamentos, com exceção da primeira amostragem depois da queima. Neste caso a concentração de Ca no solo queimado da floresta, pelo menos 1,5 ano depois da queima, foi significativamente mais alta.

ARAÚJO (1992) verificou que a queima criou condições para pequenas lixiviações e encontraram redução de C, Al, Fe e H + Al e aumento do pH e do Ca sobre as propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

REIS & BARROS (1990) citam resultado de estudos sobre queima controlada, em povoamentos mistos de *Eucalyptus panicflora*, *E. dives* e *E. delegatensis*, nos quais as perdas de nutrientes em kg.ha^{-1} foram: N - 74 a 109; P - 1,96 a 3,04; K - 12,1 a 21,0; Ca -

18,7 a 29,7; e Mg - 4,5 a 9,7. PEREIRA *et al.* (1984) verificaram perdas de cálcio e magnésio em torno de 38 e 15 kg.ha⁻¹, respectivamente, em povoamentos de eucalipto, com 6 anos de idade.

Em uma área de cerrado na região de Brasília, submetida à queima controlada, KOZOVITS *et al.* (1996) registraram que a concentração de nitrato manteve-se constante, não havendo diferença entre a área queimada e a área-controle (protegida do fogo a 21 anos). A concentração de amônio caiu de 17,0 mg.kg⁻¹ (em janeiro) para 8,6 mg.kg⁻¹ (em julho, antes da queima) e para 4,9 mg.kg⁻¹ em julho depois da queima. Na área-controle a concentração de amônio foi 2 a 3 vezes superior que na área queimada. O pH nos horizontes superficiais do solo não sofreu alteração.

d) Erosão

Um dos principais responsáveis pela erosão, segundo SOARES (1985) e CONARD *et al.* (1989), é a mudança da reação do solo à precipitação após um incêndio, pois a eliminação da vegetação altera a força e a frequência com as quais os pingos da chuva atingem o solo.

Os incêndios florestais podem reduzir a capacidade de absorção da água de chuva pelo solo e aumentar o escoamento superficial nas bacias hidrográficas e, conseqüentemente, provocar a erosão. Segundo SOARES (1985), este é um dos mais sérios e duradouros efeitos do fogo sobre o solo.

O relevo é um aspecto a ser considerado com relação aos efeitos do fogo, pois afeta a intensidade da erosão, assim como as perdas dos nutrientes do solo. Quanto maior a declividade do terreno, maior será a perda de nutrientes contidos nas cinzas, que são arrastados pela água da chuva. O impacto da gota de chuva provoca desagregação do solo e acelera o processo erosivo (WADE & LUNDSFORD, 1990; COSTA, 1990; SOARES, 1985; COSTA & CARMO, 1983; TIEDEMANN, 1978).

Segundo WADE & LUNDSFORD (1990), enquanto não cresce uma nova vegetação, o uso do fogo em terrenos inclinados deve ser criterioso, devido ao maior escoamento da água e conseqüente erosão do solo. COSTA (1990) cita que a queima contínua em áreas de pastagens provoca degradação do solo em locais de maior declive,

onde gramíneas e outros vegetais são mais escassos, tornando a área mais suscetível à erosão. Conforme COSTA & CARMO (1983), a queima e a erosão associadas podem causar redução no incremento de madeira, principalmente em solos de baixa fertilidade, que são os mais utilizados em plantios florestais.

De acordo com SOARES (1985), a redução da capacidade de absorção de água pelo solo, após um incêndio florestal, é resultado do aumento da repelência à água, desenvolvida pelo solo em consequência do calor gerado pelo fogo. DE BANO *et al.* (1979) citam que a repelência à água é causada pela destilação de substâncias hidrofóbicas, resultante da decomposição do material vegetal e da sua posterior condensação nas camadas superficiais do solo mineral. Em solos arenosos há tendência de maior repelência à água que em solos argilosos, porque a matéria orgânica cobre as partículas do solo mais completamente, pelo fato de os solos arenosos terem menor área superficial.

RUBY (1989) verificou grande potencial para produção de enxurrada em áreas intensamente queimadas, resultando em solos fortemente hidrofóbicos.

Segundo DE BANO *et al.* (1977), a taxa de infiltração em solo repelente à água pode ser até 25 vezes menor que em solo similar, com plena capacidade de absorção. COSTA & CARMO (1983) observaram repelência à água dos solos cultivados com eucaliptos nos Estados de Minas Gerais, do Espírito Santo e Mato Grosso do Sul. Isto tem ocorrido em povoamentos de diferentes idades e classe de solos, com a textura variando de argilosa a arenosa. Verificaram, ainda, que este fato ocorre em áreas não cultivadas há vários anos. Quanto mais seco se encontra o solo, mais prolongada é a repelência à água. Esse fato, por um lado, parece indesejável, porque reduz a velocidade de infiltração da água mas, por outro lado, pode reduzir a perda de água no solo, tornando-se um aspecto favorável.

De todos os componentes do ecossistema, a água é o fator mais sensível aos distúrbios causados na vegetação e no solo. Este recurso valioso produzido pela floresta pode também servir de mecanismo de transporte de nutrientes e de sedimentos. Estes sedimentos e a turbidez, quando associados à queima, são os mais dramáticos e importantes fatores responsáveis pela qualidade da água. Eles resultam de um fluxo de água sobre a terra, provocando erosão e aumento do curso de água. Os sedimentos podem também provocar inundação de terras cultiváveis pela diminuição da capacidade dos reservatórios de armazenamento de água. Em grandes áreas de colheita de madeira há um aumento na

produção e no acúmulo de sedimentos. Esse problema pode ser agravado ainda mais em áreas de maior inclinação quando associado à prática da queima (TIEDEMANN, 1978).

Vários estudos mostram que a produção de sedimentos é maior nos casos de incêndios que em queima controlada. TIEDEMANN (1978) mostra resultados da queima controlada sobre a turbidez em relação à inclinação do solo. Entre 1 e 4 % de inclinação a queima não causou nenhuma turbidez; entre 8 e 20 % praticamente duplicou e entre 37 e 61%, aumentou mais de 10 vezes.

HELVEY (1980), avaliando o feito do fogo em uma represa de 564,0 ha de lâmina de água, com vegetação mista de coníferas, durante 9 anos após um incêndio, verificou que a produção de sedimentos aumentou acentuadamente após o fogo, por causa do acréscimo da taxa de escoamento superficial, causado pela redução da capacidade de infiltração da água e do movimento de solo.

2.4.2 Efeitos do fogo sobre a vegetação

O mais visível e conhecido efeito do fogo sobre a vegetação é o dano físico causado às árvores, podendo provocar a morte de plântulas e árvores de pequeno diâmetro (WADE & LUNDSFORD, 1990). Os incêndios de copa, por exemplo, são os que causam os maiores danos à vegetação, pois podem destruir árvores adultas ou deixar cicatrizes que reduzem o valor comercial da parte inferior do fuste, podendo, ainda, possibilitar a entrada de pragas e doenças (WADE & LUNDSFORD, 1990; SOARES, 1985).

Segundo COUTINHO (1980), no cerrado, o fogo influi sobre o desenvolvimento dos troncos e ramos dos indivíduos lenhosos, provocando, freqüentemente, acentuada tortuosidade. Esta parece ser consequência da morte das gemas apicais, pela ação do fogo, e de um posterior crescimento através da brotação e do desenvolvimento das gemas laterais. O crescimento que deveria ser retilíneo, monopodial, passa a ter aparência tortuosa, simpodial. Outro possível efeito das queimadas no cerrado é a aparência anã que certos indivíduos arbóreos apresentam, quando se desenvolvem em áreas freqüentemente atingidas pelo fogo. Estes indivíduos tornam-se adultos, florescendo e frutificando normalmente, mas não conseguem crescer mais que alguns centímetros.

MOREIRA (1996) concluiu em estudo sobre a composição de espécies de 5 fisionomias de cerrado, que a proteção contra o fogo levou a um aumento da densidade dos elementos lenhosos e favoreceu o surgimento de espécies sensíveis ao fogo; o número de árvores (>2 m) foi maior na área protegida em todas as fisionomias; que espécies arbustivas foram menos afetadas pela proteção; e que a estrutura e a composição da vegetação lenhosa favoreceram as fisionomias mais fechadas.

MIRANDA & KLINK (1996), ao analisarem a influência do fogo na alocação de biomassa de *Echinolaena inflexa*, em 2 áreas de campo sujo de cerrado, na região de Brasília, não observaram diferença significativa entre as áreas queimadas e não-queimadas, sendo a arquitetura das áreas-controle mais ramificada. O número de inflorescências foi maior na área-controle, porém o de espiguetas por inflorescência foi maior na área queimada.

A temperatura letal dos tecidos vivos das árvores tem sido estudada por vários pesquisadores e os resultados indicam que ela é inversamente proporcional ao tempo de exposição. Segundo NELSON (1952)⁷, citado por SOARES (1985), a morte das folhagens das espécies *Pinus elliottii*, *P. palustris*, *P. rigida* e *P. taeda*, ocorreu à temperatura de 54 °C após 6 minutos de exposição; a 60 °C, após meio minuto e, a 65 °C, foi quase instantânea. WADE & LUNDSFORD (1990) citam que o câmbio e a copa são muito vulneráveis a temperaturas acima de 58 °C, e as acículas toleram uma exposição a 54 °C durante 5 minutos e morrem instantaneamente quando essa temperatura é de 62 °C.

Quando o incêndio é de alta intensidade e de longa duração, praticamente todos as árvores morrem, sendo que a diferença na resistência ao fogo entre espécies ou indivíduos passa a não existir. Entretanto, em incêndios de intensidade moderada, a diferença de resistência ao fogo entre espécies torna-se muito importante, principalmente nas estimativas de danos causados ao povoamento e no planejamento de queima controlada (SOARES, 1985).

Alguns estudos mostram a resistência do eucalipto ao fogo. Na observação feita por LONSDALE & BRAITHWAITE (1991), após um incêndio de alta intensidade, foi detectado que das 2.766 árvores e 29 espécies de arbustos existentes em 2 transectos de 20 x 1.500 m antes da ocorrência do fogo, 395 (14,3 %) árvores morreram, enquanto a

⁷NELSON, R.M. Observation on heat tolerance of southern pine needles. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. Paper nº 14, 6 p. 1952.

mortalidade das espécies de arbustos variou de 4 a 90 % após a queima. *Eucalyptus porrecta*, *E. tetradonta* e *E. miniata* foram as espécies mais abundantes antes e depois da queima. A diversidade de espécies (alfa), medida pelo índice de Shannon-Weiner, não variou após o fogo, mas a diversidade espacial (beta), medida pelo índice de dissimilaridade de Bray Curtis, aumentou.

REGO e BOTELHO (1988) relatam a redução do sub-bosque sob *Eucalyptus* sp, após a aplicação da queima controlada, com quantidade inicial de 30-45 t.ha⁻¹, chegando a 16 t.ha⁻¹ depois da primeira queima e redução adicional de 4 t.ha⁻¹ após uma segunda queima. SILVA *et al.* (1988), ao avaliarem a redução de sub-bosque em povoamentos de *Pinus pinaster*, *Quercus pyrenaica* e *Eucalyptus globulus*, encontraram que a redução do material combustível foi bem maior para as 2 primeiras espécies, o retorno à situação inicial levou 4 anos, e a rebrota, após o fogo, foi mais vigorosa que antes do fogo, mantendo a mesma composição de espécies.

COUTINHO (1980) concluiu, a partir de estudos de plantas de cerrado que, nas espécies investigadas, o fogo levou o indivíduo à indução floral pela destruição de suas partes epígeas e não por um efeito térmico ou nutricional (cinzas). A floração provocada pela queima não é resultado apenas de distensão de estruturas florais embrionárias já existentes (eliminação da dominância apical), mas também de um processo de indução floral. Com a eliminação dos órgãos epígeus vegetativos, onde o autor acredita sejam produzidos os inibidores florais, a floração é favorecida.

SOARES (1985) cita, ainda, vários fatores que afetam a resistência das árvores ao danos provocados pelo calor:

- temperatura ambiente

Quanto maior for a temperatura do dia, mais rapidamente será atingida a temperatura letal, porque o calor de pré-ignição será menor, ou seja, a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura do material combustível à sua temperatura de ignição será menor num dia mais quente.

- parte da árvore exposta ao calor

Plântulas e árvores jovens de pequeno diâmetro são mais susceptíveis à ação do fogo. Os brotos terminais têm grande importância e a sua resistência ao calor depende do tamanho, da proteção das folhas e dos pêlos laterais.

- espessura da casca

Árvores que apresentam casca mais espessa, principalmente na base do tronco, apresentam maior resistência ao fogo. A casca funciona como um isolante, e sua eficiência depende da estrutura, da composição, da densidade, do conteúdo de umidade e da espessura. WADE & LUNDSFORD (1990) observaram que as latifoliadas sofrem muito mais com o fogo que os pinus, e a principal razão é a proteção do caule pela casca espessa.

- forma e tempo de permanência dos galhos

As árvores com derrama natural apresentam copas mais altas, portanto, têm menor quantidade de material combustível preso na parte inferior dos troncos, estando menos sujeitas aos incêndios de copa.

- características do sistema radicial

As raízes mais próximas da superfície do solo apresentam maior risco de danos pelo fogo, por apresentarem camada cortical bastante fina. De modo geral, árvores de sistema radicial fasciculado podem sofrer maiores danos pelo fogo.

- inflamabilidade da folhagem

As coníferas são mais inflamáveis que as folhosas sempre verdes, e estas mais que as folhosas decíduas, mas estas diferenças não influenciam a resistência destas espécies ao fogo. As coníferas, por exemplo, apesar de possuírem alta inflamabilidade, são mais resistentes ao fogo, em razão, principalmente, das características da casca.

- estação e ciclo de crescimento

O teor de umidade das folhas influencia a resistência ao calor. Durante o crescimento inicial dos tecidos a água está presente em grande percentual, tornando-os mais

sensível ao calor; com isto, os brotos terminais e o câmbio ficam mais susceptíveis durante a estação de crescimento que no período de dormência.

Uma queima controlada de baixa intensidade ($47,6 - 119,0 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$) foi realizada por HAMILTON *et al.* (1991), com o objetivo de avaliar os efeitos da queima sobre a florística, biomassa, conteúdo de N e fixação de N_2 em floresta de *Eucalyptus obliqua*. A cobertura vegetal foi reduzida em 90 %, com recuperação de 40 % um ano após a queima; a densidade das plantas foi reduzida em 70 % e 33 % das plantas de sub-bosque ainda estavam ausentes 1 ano após. A biomassa e o N total eram, respectivamente, 600 t.ha^{-1} e 1.030 kg.ha^{-1} de N antes da queima. Depois da queima registrou-se uma perda de 30 t.ha^{-1} e 100 kg.ha^{-1} de N. Os autores concluíram que o nitrogênio perdido com a queima é mais fácil de ser recuperado por meio das reservas do solo e pela chuva que através das leguminosas.

2.4.3 Efeitos do fogo sobre a sucessão vegetal

O fogo é um dos distúrbios mais freqüentes que ocorrem nos ecossistemas florestais, interferindo de forma marcante na sucessão de determinadas comunidades. O seu impacto sobre a vegetação depende de muitos fatores, incluindo o estágio de sucessão e a intensidade do fogo (VAUX *et al.*, 1984).

A dinâmica das florestas deve-se muitas vezes à ação do fogo através do tempo. Muitos ecossistemas adaptam-se aos efeitos dos incêndios e alguns são até dependentes do fogo para se desenvolver (U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, 1989).

As espécies pioneiras são as primeiras a ocupar o local após qualquer distúrbio. Elas modificam o ambiente para as espécies subseqüentes, que necessitam de sombra nos primeiros estágios de crescimento. Similarmente, a mudança de pH do solo, acompanhada do aumento da camada de matéria orgânica, provocada pela liberação de galhos, ramos e folhas das plantas, geralmente favorece a nutrição de espécies arbóreas clímax. Não ocorrendo nenhum distúrbio que interfira na sucessão, num determinado estágio, haverá uma evolução até o estágio clímax (KIMMINS, 1987).

SOARES (1985) cita que espécies dependentes do fogo, que têm sobrevivido há milhares de anos, têm desenvolvido mecanismos e propriedades de resistência ao fogo que

ajudam na perpetuação das comunidades. Essas comunidades são formadas por espécies pioneiras ou série, sobrevivem aos incêndios que impedem que a sucessão avance até o estágio clímax. No Brasil, um exemplo de ecossistema dependente do fogo é o cerrado. A eliminação do fogo dessa região provavelmente levaria à sucessão de estágios mais avançados, talvez uma vegetação com aparência das matas de galeria.

O fogo é o mais prático e econômico de todos os meios conhecidos para preparar o terreno para plantio, tanto de espécies florestais quanto de agrícolas. Na regeneração natural, a queima controlada é também um ótimo meio de preparar a área para receber as sementes, ou mesmo favorecer a germinação, como ocorre com a bracatinga (*Mimosa scabrella*) por exemplo, na região de Curitiba, Paraná (SOARES, 1995).

COUTINHO (1980) cita que no campo de cerrado de Emas, em Pirassununga, a época de queimada, seja ela em janeiro, seja em julho, não influenciou notavelmente sobre a produtividade primária líquida anual do estrato herbáceo subarbustivo, ficando ela entre 5,5 e 7,5 t.ha⁻¹ aproximadamente.

UHL *et al.* (1981), em estudo feito sobre sucessão após corte e queima na região do alto Rio Negro, na Amazônia, verificaram que 4 meses após a queima a densidade das plantas foi menor por metro quadrado; a densidade das gramíneas, dos arbustos e das árvores aumentou rapidamente do quarto ao décimo mês de sucessão e que houve pequena alteração na densidade das plantas entre o décimo e o vigésimo segundo mês, com grande mudança na altura da vegetação. No vigésimo segundo mês aproximadamente grande dossel de *Cecropia* spp apresentava 5 metros de altura.

BROWN & DEBYLE (1989), estudando a sucessão de plantas e produção de biomassa através de 3 queimas controladas, em álamo (*Populus tremuloides*) e floresta mista de álamo e conífera, verificaram que o fogo alcançou o andar superior da floresta de baixa para alta intensidade, provocando entre 20 e 100 % de mortalidade. Fogo de alta intensidade favorece o aparecimento de musgos e gramíneas e, após 5 anos, o material combustível aumentou de 20 para 100 % em relação ao existente antes da queima. A quantidade de material combustível abaixo de 0,5 cm de diâmetro é máxima após 2 anos. O número de plântulas de álamo aumentou significativamente após a queima, registrando-se maior densidade em locais onde o fogo atingiu intensidade de moderada a alta.

HUNTLEY & McGEE (1982) citam que a regeneração de carvalho deve-se aos incêndios ocorridos nas florestas, e CRANE (1972), estudando regeneração de eucaliptos

na Austrália, verificou que o fogo é necessário para a regeneração e continuidade de várias espécies desse gênero. Uma das características da maioria dos eucaliptos é a resistência ao fogo, que é relativamente alta quando comparada com outras folhosas, fazendo com que estas espécies sobrevivam a incêndios de certa intensidade e se perpetuam no local.

O desenvolvimento da brotação de cepas após uma derrubada é muito importante no crescimento de uma floresta quando este fato está ligado à prática da queima. STOCKER (1981) observou 23 meses após o corte e queima de uma floresta úmida, em Queensland, a presença de 82 espécies de plantas. KARTAWINATA *et al.* (1980) encontraram também para uma floresta úmida, 6 meses após a queima, a presença de 122 espécies em áreas queimadas e 154 espécies em áreas não-queimadas, e que as brotações decresceram de 42 para 29 %.

Outros estudos mostram que o fogo reduz, de forma significativa, o estoque de semente no solo. UHL *et al.* (1981) concluíram que a queima provocou diminuição no banco de sementes. BRINKMAN & VIEIRA (1971), estudando 31 espécies em áreas queimadas, verificaram que em uma queima registrou-se temperatura de 100 °C a 150 °C na superfície do solo, por várias horas; um mês após, a metade das sementes morreram por ataque de insetos ou fungos, todas as sementes remanescentes a 2 cm de profundidade foram mortas pelo fogo. Na profundidade de 5 cm, cerca de 80 a 100 % morreram e, nas profundidades de 10 e 20 cm, todas as sementes sobreviveram. Os autores concluíram que a maior parte do banco de sementes ocorre normalmente a poucos centímetros de profundidade e pode ser destruído pelas altas temperaturas produzidas pelo fogo.

Evidências mostram que parte do aparecimento de espécies pioneiras é originada de sementes lançadas das árvores e não de sementes já presentes na época do corte. BRINKMAN & VIEIRA (1971) verificaram que o incêndio destrói as sementes no solo, mas deduziram que plântulas se desenvolveram após o corte e a queima. UHL *et al.* (1981), trabalhando na Amazônia Venezuelana, verificaram que as primeiras espécies colonizadoras da floresta originaram da parte do estoque de sementes no solo que não foi destruído pelo fogo e que arbustos e gramíneas que chegaram logo após foram, na maioria, transportados pelo vento.

HALL & SWAINE (1980) observaram em seus estudos que muito poucas sementes foram dispersadas pelo vento, quando elas se desprendiam das árvores, e que só as espécies dispersadas por animais ocorrem no estoque de sementes localizado no solo.

2.4.4 Efeitos do fogo sobre a fauna

Os efeitos mais marcantes dos incêndios florestais sobre a fauna são a destruição do abrigo e da alimentação, expondo os animais a seus predadores e causando, conseqüentemente, desequilíbrio na cadeia alimentar.

Os estudos relativos aos efeitos do fogo sobre a fauna silvestre são escassos. Os efeitos potencialmente negativos são a destruição de ninhos e, em casos raros, morte direta dos animais (WADE & LUNDSFORD, 1990). AHLGREN & AHLGREN (1960) citam que os incêndios dificilmente resultam na morte da fauna, porque os animais maiores geralmente escapam ao pressentirem a aproximação do fogo através das massas de ar aquecidas. Incêndios em locais de vegetação rasteira normalmente não alcançam altas temperaturas ao nível do solo, fazendo com que os pequenos animais se refugiem em tocas situadas abaixo da zona de combustão. Entretanto, outros fatores tais como a fumaça e o ruído provocados pelo fogo afugentam os animais.

A destruição da vegetação às margens dos cursos de água pode provocar mortalidade de peixes pelo aumento da temperatura da água. Os processos de sedimentação, originados por incêndios, também podem prejudicar a sobrevivência de alguns peixes. LYON *et al.* (1978) concluíram em seus estudos que os sedimentos podem reduzir a área de cascalho ou material fino que servem de proteção dos ovos depositados pelos peixes *Anadromus* e que populações de peixes que se alimentam de insetos aquáticos também podem ser reduzidas. Os autores concluíram, ainda, que a sedimentação reduz a vegetação localizada ao lado dos curso d'água, provocando diminuição do hábitat dos organismos aquáticos.

O incêndio, ou a queima controlada, por outro lado, pode alterar a estrutura do sítio, estimulando a germinação e brotação de ervas, arbustos e árvores, fazendo com que mamíferos e pássaros sejam atraídos para estas áreas. HUNTLEY & McGEE (1982) verificaram que os incêndios melhoraram o hábitat da vida silvestre a partir do momento em que aumentou o número de vegetação herbácea e de cobertura. Queima controlada, executada em áreas de pastagens, é compatível com o manejo de hábitat de veados e outras espécies de animais silvestres.

NEUMANN & TOLHURST (1991) concluíram que houve redução nas atividades das populações de Collembola, Diptera, Opilionida, Lepdoptera e Apocrita, durante mais de um ano, após a aplicação de queima controlada, de baixa intensidade, no outono e na primavera, em floresta esclerófila seca mista com predominância de *Eucalyptus obliqua*, *E. radiata* e *E. rubida*. Essa redução estava associada com a fina camada de material combustível no primeiro ano após a queima.

NAVES (1996) não registrou alteração na colônia de formigas do subsolo e que forrageiam no subsolo, na superfície ou na parte aérea das plantas, ao avaliar o efeito do fogo em área de cerrado do Distrito Federal. As espécies com colônias na parte aérea, entretanto, sofreram diminuição populacional de 69 %.

2.4.5 Efeitos do fogo sobre o ar atmosférico

Os incêndios florestais ou as queimas controladas emitem uma mistura complexa de partículas e gases para a atmosfera. A diversidade da composição dos produtos da combustão resulta da ampla variação do tipo e da composição química de material combustível, os quais apresentam diferenças marcantes entre as regiões temperadas e tropicais, e do comportamento do fogo em condições ambientais naturais. Por outro lado, as emissões originadas da queima da biomassa dependem da taxa de calor liberada, do tamanho da queima, da velocidade do vento e da estabilidade da atmosfera (WARD, 1990).

A queima da biomassa, tanto para uso agrícola quanto para uso florestal, é um dos responsáveis pelo crescente aumento de CO₂ na atmosfera. Segundo PACHECO & HELENE (1990), nos últimos 200 anos a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 27 % em razão da queima de combustíveis fósseis, dos desmatamentos e das mudanças no uso da terra. As florestas contêm 20 a 100 vezes mais carbono por unidade de área que outros tipos de plantações. Assim sendo, com o desmatamento, o carbono contido na vegetação e no solo é liberado para a atmosfera em forma de CO₂. Entretanto, HAO *et al.* (1990) citam que a quantidade de CO₂ e de outros gases emitida pelos incêndios em savanas é aproximadamente três vezes maior que aquela emitida pela queima de áreas desmatadas e, no total, as emissões para a atmosfera na região tropical podem somar cerca

de $2\text{--}2,5 \times 10^{15}$ g $\text{CO}_2\text{-C}$ por ano. Por outro lado, a savana se recupera mais rapidamente, capturando maior quantidade de CO_2 quando comparado com a recuperação das florestas.

Os principais poluentes provenientes da queima das florestas são CO , CO_2 , partículas, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonos. Muitos autores acreditam que o elemento mais importante emitido para a atmosfera durante um incêndio é a fração de partículas em suspensão na fumaça (TIEDEMANN, 1978). Segundo WARD (1990), o monóxido e o dióxido de carbono somam cerca de 90 % a 95 % do total de carbono liberado durante a queima da biomassa.

TANGREN *et al.* (1976) definem "partícula" como qualquer agregado de matéria sólida ou líquida, além da água, medindo entre 0,002 e 500 micra. Segundo TIEDEMANN (1978), as partículas são a maior causa da redução da visibilidade provocada pelos incêndios. As partículas menores, ou seja, menor que 3 micra, causam problemas respiratórios, principalmente quando associados com gases tóxicos.

A quantidade de material combustível consumido em um incêndio pode ser 3 vezes maior que em queima controlada, para uma mesma área queimada, e a emissão de partículas poderá ser 10 vezes maior (WARD *et al.*, 1976 e TIEDEMANN, 1978). Em queima controlada, as emissões de partículas são mais baixas devido ao controle antecipado do material combustível (TIEDEMANN, 1978). SOARES (1985) cita que a fumaça emitida durante a queima controlada causa menos problemas de poluição do ar que as indústrias. Cita, ainda, que a queima deve ser feita quando as condições atmosféricas permitam o movimento vertical do ar, para dispersar a fumaça.

2.4.6 Outros efeitos

O fogo pode apresentar vários outros efeitos sobre o ecossistema. Apesar da escassez de trabalhos sobre o assunto, sabe-se que a fauna do solo pode sofrer efeitos, tanto diretos quanto indiretos, com a ocorrência de um incêndio florestal. A fauna desempenha importante papel na permeabilização do solo, através da mistura de camadas superficiais e conseqüente incorporação da matéria orgânica.

Efeitos do fogo sobre paisagismo e áreas de recreação são muito importantes, interferindo de forma negativa sobre a paisagem, durante várias décadas, até recuperação

total da área. Neste caso, o aspecto visual e a beleza cênica ficam prejudicados, passando uma imagem completamente adversa daquela desejada, além das consequências ecológicas associadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado num reflorestamento da RIGESA Celulose, Papel e Embalagens Ltda., com sede no município de Três Barras, Estado de Santa Catarina, localizada na latitude $26^{\circ} 15' S$, longitude $50^{\circ} 48' W$ e altitude média de 775 m (Figura 1), distante, aproximadamente, 183 km de Curitiba.

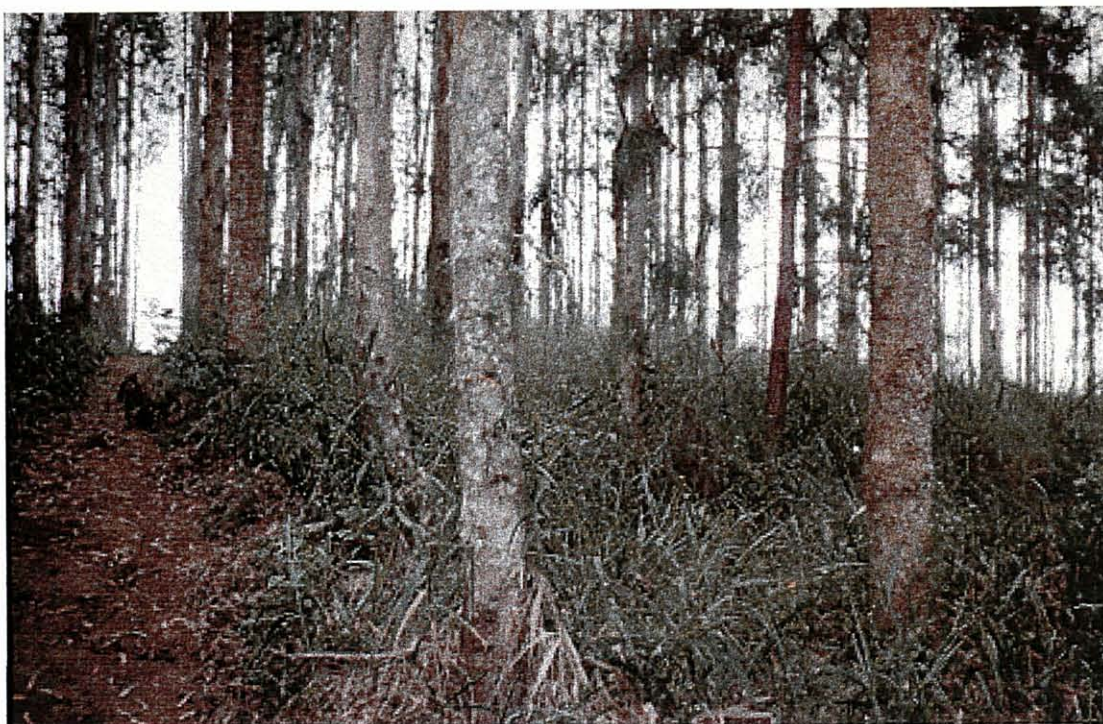
FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



O experimento foi instalado num povoamento de *Eucalyptus viminalis* plantado em 1985, no espaçamento original de 3 x 2 m, situado na região administrativa nº 5 da empresa denominada Bugre, talhão nº 98, ocupando uma área de aproximadamente 6 hectares.

A Figura 2 dá uma visão geral de duas parcelas antes da realização da queima, mostrando uma situação de vegetação herbácea e outra de vegetação arbustiva.

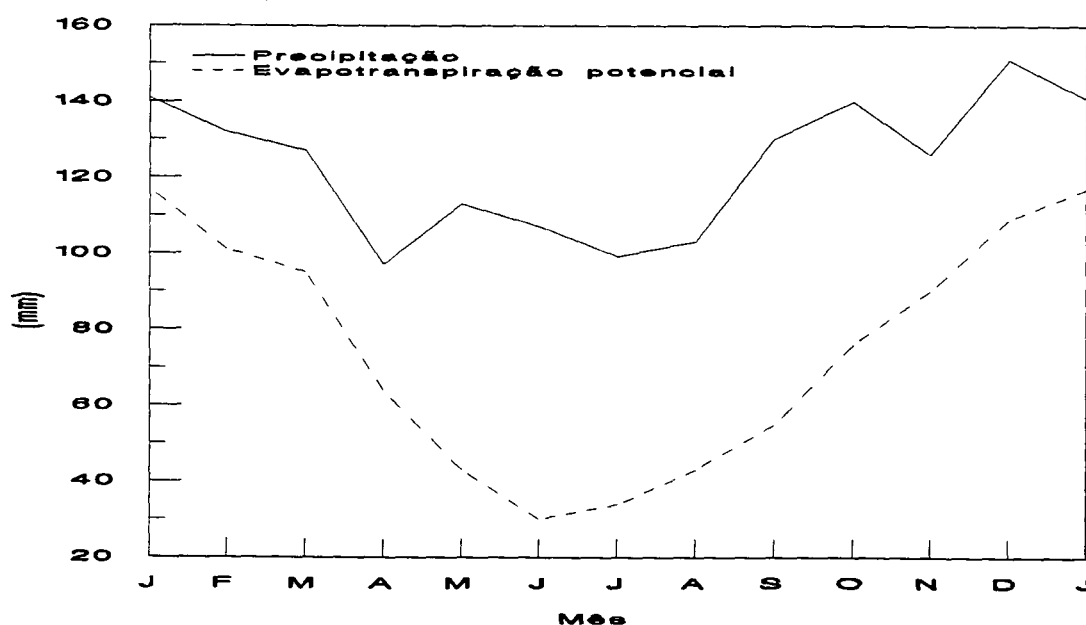
FIGURA 2 - VISÃO GERAL DAS PARCELAS ANTES DA REALIZAÇÃO DAS QUEIMAS



O *Eucalyptus viminalis* é uma espécie exótica procedente da Austrália (Estados de Victória e Nova Gales do Sul), encontrada em regiões com temperatura média anual variando entre 12 e 17 °C, com numerosas geadas e chuvas variando entre 600 e 900 mm, de regime invernal ou uniforme. No planalto do sul do Brasil têm encontrado condições climáticas adequadas. Em Canela, RS, o crescimento em diâmetro e altura é muito bom, somente se nota nos troncos uma leve tortuosidade, que pode ser proveniente do excesso de chuvas (GOLFARI & PINHEIRO, 1970).

ANDRADE (1990) fez o cálculo do balanço hídrico (Figura 3) para a Região de Três Barras, utilizando o método de THORNTHWAITE & MATHER (1955), no período de 1958-1989 e concluiu que as precipitações anuais da região foram consideradas altas; os valores estimados de déficit hídrico insignificantes e que houve um excedente hídrico em todos os meses.

FIGURA 3 - BALANÇO HÍDRICO, SEGUNDO THORNTHWAITE & MATHER (1955), DO PERÍODO DE 1958-1989, PARA O MUNICÍPIO DE TRÊS BARRAS, SANTA CATARINA



Fonte: ANDRADE (1990)

O clima dominante da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cfb (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 1973). A temperatura média anual é inferior a 17 °C e a precipitação que está em torno de 1.500 mm, é bem distribuída. É

freqüente a incidência de chuvas torrenciais e há ocorrência de geadas de abril a novembro.

Segundo IDE *et al.* (1980), o Estado de Santa Catarina foi dividido geograficamente em 3 regiões: Planícies Costeiras, Serras Litorâneas e Planalto Ocidental. Este último, por suas características geomorfológicas e geológicas foi subdividido em Planalto de Canoinhas, Planalto de Lages e Zona Basáltica. A área de estudo está inserida no Planalto de Canoinhas, localizado ao Norte do Planalto Ocidental. É uma sub-região formada por rochas sedimentares, apresentando relevo suave ondulado e ondulado.

Os solos que compõem a unidade de mapeamento Canoinhas (Tabelas 1 e 2), segundo o GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1973), são profundos, bem drenados, argilosos, de coloração vermelha e teores elevados de matéria orgânica. Os mesmos são classificados como Latossolo húmico distrófico, textura argilosa, relevo suave ondulado.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM PERFIL DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO

N. amostra	Horizonte		Composição granulométrica (%)				Argila natural (%)	Grau de flocula- ção	Relação Silte argila
	Símbolo	Profund. (cm)							
			Areia		Argila				
			grossa	fina	Silte	Argila			
			2,0-0,20	0,20-0,05	0,05-0,002	< 0,002 mm			
11	A ₁	0-20	23	19	21	37	1	97	0.56
12	A ₃	20-34	10	21	23	46	1	98	0.50
13	B ₁	34-44	5	30	25	40	3	93	0.62
14	B ₂₁	44-78	9	30	21	40	3	93	0.52
15	B ₂₂	78-98	6	31	24	39	3	93	0.61
16	B ₃	98-160	4	51	21	24	1	96	0.87

Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1973)

A vegetação do Estado de Santa Catarina é floresta ombrófila mista, com araucária. Segundo o GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1973), na unidade de mapeamento Canoinhas ressalta-se a presença da erva-mate (*Ilex*

paraguariensis) e do pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*). Nas áreas desmatadas observam-se campos com predomínio da grama-missioneira (*Axonopus* sp).

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM PERFIL DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO

pH	K	P	Complexo sortivo (mE/100g)								v	¹⁰⁰ AL	C	N	C/N	MO
água	KCL	ppm	ppm	Ca+Mg	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	T	(%)	Al+S	(%)	(%)	N	(%)
5.0	4.1	23	1	1.2	0.1	-	1.3	2.4	7.6	11.3	11	64	1.62	0.13	12	2.7
5.0	4.1	23	1	1.0	0.1	-	1.1	2.4	7.6	11.1	9	68	1.32	0.11	12	2.2
5.0	4.1	23	1	0.8	0.1	-	0.9	2.4	7.6	10.9	8	72	1.20	0.10	12	2.1
5.0	4.1	23	1	0.8	0.1	-	0.9	1.6	6.8	9.3	9	64	1.20	0.10	12	2.1
5.2	4.1	16	1	0.6	0.0	-	0.6	1.1	7.0	8.7	7	64	1.14	0.10	11	1.9
5.3	4.8	16	1	0.6	0.0	-	0.6	0.9	2.9	4.4	14	60	1.14	0.10	11	1.9

Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (1973)

Nas Figuras 4, 5 e 6 estão registrados os dados meteorológicos da precipitação, temperatura média e umidade relativa, respectivamente, referente ao período compreendido entre o início dos trabalhos (maio de 1994) e a última tomada de dados em campo (novembro de 1995).

FIGURA 4 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995

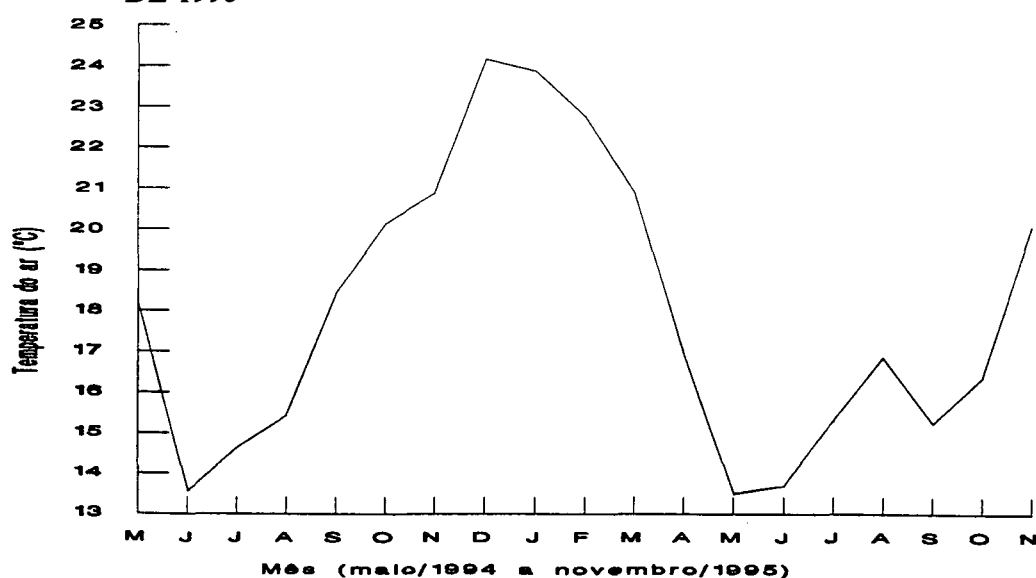


FIGURA 5 - PRECIPITAÇÃO MENSAL DO PERÍODO DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995

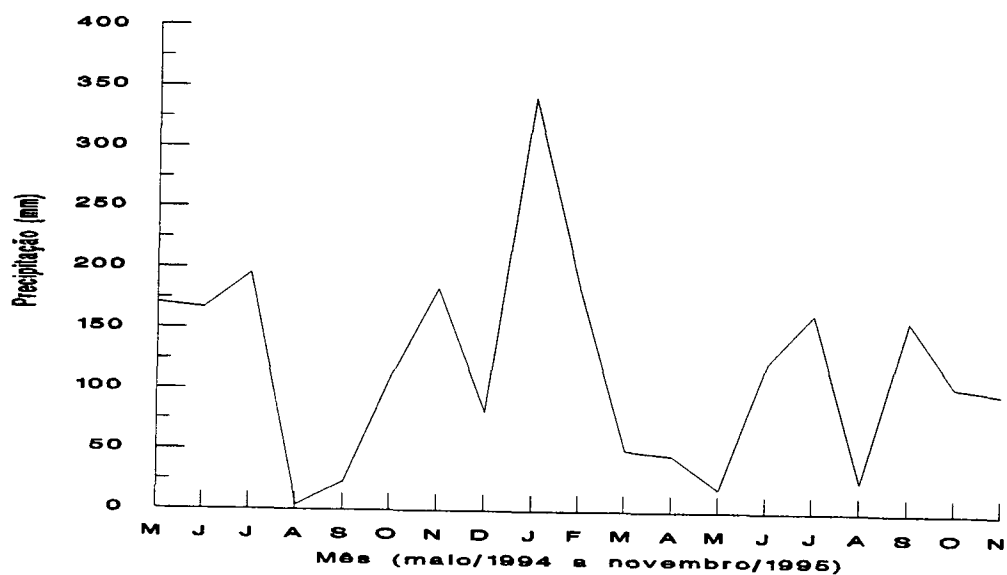
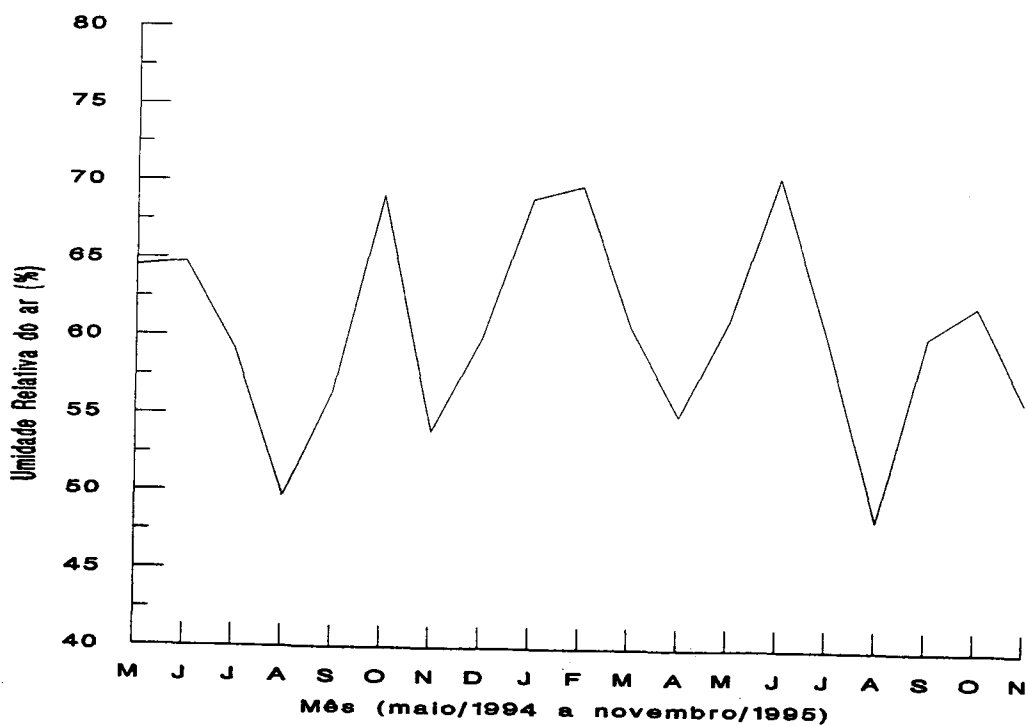


FIGURA 6 - UMIDADE RELATIVA MENSAL DO PERÍODO DE MAIO DE 1994 A NOVEMBRO DE 1995



3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A ação do fogo sobre o material combustível, formado por vegetação viva e morta, é diretamente dependente das condições meteorológicas do local em que se encontra, e a intensidade do fogo está diretamente relacionada com a técnica de queima. Estas duas variáveis, período do ano e técnica de queima, formaram a base do delineamento experimental.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao caso, com 4 blocos ou repetições. Cada bloco era composto por 5 parcelas, correspondentes aos tratamentos. Cada parcela tinha 1.800 m², com dimensões de 30 por 60 m. Os tratamentos foram os seguintes:

Nº tratamento	Descrição
1	controle (Tp e To)
2	queima de outono em faixas a favor do vento (Fo)
3	queima de primavera em faixas a favor do vento (Fp)
4	queima de outono contra o vento (Co)
5	queima de primavera contra o vento (Cp)

As técnicas mais comuns de queima têm o vento como elemento determinante da direção e da intensidade do fogo. Entretanto, quando a queima controlada é realizada dentro do povoamento, a determinação da direção do vento é dificultada pela presença das árvores. No presente estudo, as diferentes intensidades foram obtidas utilizando-se a declividade do terreno. A queima, cuja linha de fogo percorre no sentido do aclave, substitui a queima a favor do vento e, no sentido do declive, a queima contra o vento.

A análise estatística foi feita individualmente para as classes de material combustível e para os totais, a fim de avaliar os efeitos dos diferentes tipos de queima e estação do ano (primavera e outono) no consumo e percentual de redução pelo fogo. Para comparação de duas médias utilizou-se o teste de T e para comparações múltiplas o teste de SNK, ambos a 10 % de significância. Uma análise de covariância foi feita para eliminar a influência das diferentes quantidades de material combustível entre as parcelas existentes inicialmente. Foi feita também uma comparação entre os percentuais de composição de material combustível por classe, antes e depois da queima.

Os mesmos testes de comparação de médias foram empregados na avaliação da redução da espessura da camada orgânica em decomposição.

As informações geradas no campo e em laboratório foram submetidas a tratamentos estatísticos, visando ao entendimento do comportamento e dos efeitos do fogo.

As análises efetuadas foram as seguintes:

- análise de variância para avaliar diferenças entre blocos e tratamentos;
- comparação entre mais de duas médias (teste SNK) ou entre duas médias (teste T);
- análise de correlação simples. O teste de significância dos coeficientes de correlação foi feito com base no cálculo do valor de T de acordo com a seguinte fórmula:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{N-2}$$

Os dados em percentagem, na análise estatística, foram transformados em arco - seno $\sqrt{\%}$.

3.3 COLETA DOS DADOS

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos por meio da medição direta no campo, de resultados de análise de laboratório e de transformação das informações com o emprego de equações, visando ao cálculo dos parâmetros do comportamento do fogo.

As medições de campo envolveram o inventário do material combustível e a coleta de solo, antes e depois da aplicação dos tratamentos de queima, obtenção de dados dendrométricos e dados meteorológicos, medição das variáveis do comportamento do fogo no dia da queima (dados meteorológicos, tempo de queima e estimativa da altura das chamas e coleta de material para determinação da umidade do combustível), medição da altura de carbonização, cronometragem do tempo de corte das parcelas, contagem do número de cepas brotadas, medição da altura da brotação, coleta de folhas para análise de tecido da brotação e medição da declividade das parcelas.

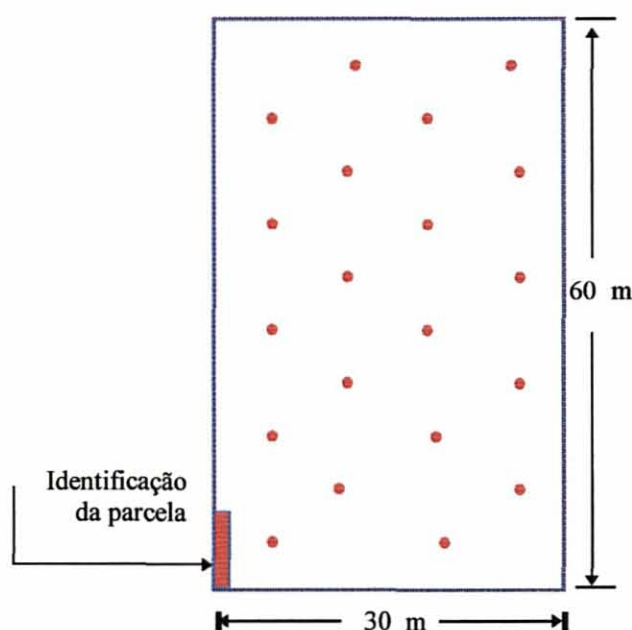
Em laboratório foram feitas as análises de solo e de tecido, sendo ainda determinados o poder calorífico, o teor da fração mineral e a umidade do material combustível, para cálculo do peso de matéria seca.

3.3.1 Inventário do material combustível

O inventário do material combustível foi feito antes e depois da aplicação dos tratamentos de queima, empregando os mesmos procedimentos. O ponto amostral do inventário pós-queima foi localizado próximo ao ponto da primeira amostragem, com o objetivo de manter o quanto possível as mesmas condições locais. A densidade amostral foi de 1,11 %.

Na Figura 7 está apresentada a distribuição das amostras na parcela.

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS AMOSTRAS DE 1 m² DENTRO DAS PARCELAS PARA AMOSTRAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL



A quantificação do material combustível por unidade de área foi feita mediante coleta e pesagem de 20 amostras de 1 m² em cada parcela. BROWN *et al.* (1982) sugerem

que os pontos amostrais sejam lançados de forma sistemática, por facilitar os trabalhos práticos.

As amostras eram eqüidistantes de 10 m e foram instaladas no 1º, 4º, 7º e 10º intervalos entre fileiras de eucalipto. No primeiro e sétimo intervalos a primeira amostra era lançada a 10 m da borda. No 4º e 10º intervalos a primeira amostra ficava a 5 m da borda.

a) Coleta do material combustível

O material combustível foi agrupado, com base na sua espessura ou no seu diâmetro (BROWN *et al.*, 1982), nas classes apresentadas na Tabela 3.

Considerando a estrutura de material combustível na área, a classe 1, tendo em vista a classificação sugerida por BROWN *et al.* (1982), foi subdividida em 3 subclasses: material verde (C-1MV), material fino não decomposto (C-1MF) e material fino em decomposição (C-1MD). Após a queima, com a eliminação das subclasses C-1MV e C-1MF, esta classe passou a ser denominada C-1.

TABELA 3 - MATERIAL ORGÂNICO COMPONENTE DAS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Classe	Tamanho (cm)	Descrição
C-1MV	< 0,6	material orgânico vivo, menor que 0,6 cm de espessura ou diâmetro, exceto vegetação lenhosa arbustiva ou de maior porte, composto por grama, capim-navalha, capim-cipó, capim-papuá;
C-1MF	< 0,6	material orgânico morto, recente, menor que 0,6 cm de espessura ou diâmetro, composto em sua maioria por galhos e folhas de eucalipto e, em menor parte, por material desprendido da vegetação de sub-bosque, acículas de pinus (regeneração);
C-1MD	< 0,6	material orgânico em decomposição, menor que 0,6 cm de espessura ou diâmetro, de forma não definida, que se encontra em contato com o solo mineral;
C-2	0,6-2,5	material orgânico de espessura ou diâmetro entre 0,6 e 2,5 cm, vivo ou morto, composto basicamente por galhos de eucalipto
C-3	2,6-7,6	material orgânico de espessura ou diâmetro entre 2,6 e 7,6 cm, composto por árvore jovem morta ou galho, em sua maioria de eucalipto, em estado de decomposição.

A coleta em campo foi realizada de acordo com os seguintes passos:

- localização do ponto amostral;
- demarcação da amostra com um quadrado vasado de 1 m de lado;
- medição da espessura da camada da serapilheira juntamente com o material verde (C-1MF+C-1MV), tomando-se a média de duas leituras feitas no sentido de uma cruz;
- medição da espessura da camada em decomposição (C-1MD), tomando-se a média das leituras feitas nos 4 quadrantes da amostra;

As espessuras eram medidas antes de qualquer movimentação sobre a área a ser amostrada para evitar compactação ou distúrbios nos locais de medição, conforme sugerido por (BROWN *et al.*, 1982).

- corte do material no perímetro do quadrado, com uma ferramenta afiada;
- coleta do material propriamente dito, separado por classe, embalagem e pesagem;
- separação de uma subamostra de cada classe, embalagem e identificação para análises posteriores. O material era colocado em sacos plásticos e lacrado para não perder umidade; e
- espalhamento do material descartado sobre a área de coleta.

b) Preparo das subamostras para análise em laboratório

As subamostras foram conduzidas ao laboratório no mesmo dia da coleta e pesadas em balanças com precisão de 1 g para obtenção do peso úmido (Pu). Posteriormente, foram submetidas a uma pré-secagem, em temperatura ambiente. Finalmente, o material foi levado para estufa e mantido, durante 48 horas, à temperatura de 75 °C e pesado novamente para obtenção do peso de matéria seca (Ps). O teor de umidade do material combustível foi determinado da seguinte maneira:

$$U\% = [(Pu - Ps)/Ps] .100$$

O peso de matéria seca da amostra de 1 m² foi calculado proporcionalmente à quantidade de material úmido levado para estufa, ou seja:

$$P_{S_{amostra\ i}} = (P_{ut_i} \cdot P_{s_i})/P_{up_i}$$

em que

$P_{S_{amostra\ i}}$ = peso total de matéria seca da amostra (1 m²) da classe i;

P_{ut_i} = peso total de matéria úmida da amostra (1 m²) da classe i;

P_{s_i} = peso de matéria seca da subamostra da classe i, medido após retirada da estufa; e

P_{up_i} = peso de matéria úmida da subamostra da classe i, que foi levada para estufa.

Para análise de tecido, determinação do poder calorífico e do teor da fração mineral foram utilizadas amostras constituídas de cada classe de material combustível. Esta nova amostra foi obtida da mistura das 20 subamostras originais de cada classe, para cada parcela. O material foi moído e homogeneizado em conjunto de peneiras com abertura de 0,42 mm e 0,25 mm (peneiras nº 40 e 60, respectivamente),

c) Análise do material combustível

Foram realizados 3 tipos de análise em laboratório: análise de tecido, determinação do poder calorífico e determinação do teor da fração mineral.

A análise de tecido foi realizada no Laboratório de Nutrição de Plantas, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, para os seguintes elementos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), de acordo com a metodologia proposta por HILDEBRAND (1976).

A determinação do poder calorífico foi realizada no Laboratório de Energia e Painéis de Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se um calorímetro adiabático da PARR, modelo 1108, conforme a Norma NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, 1983)

A estimativa do poder calorífico do material úmido, denominado, no presente estudo, poder calorífico real, foi feita a partir da equação proposta por COUNTRYMAN (1977):

$$H_w = H_d \cdot \left[\frac{100 - \frac{U}{7}}{100 + U} \right]$$

em que

H_w = poder calorífico da matéria úmida, em kcal.kg⁻¹;

H_d = poder calorífico da matéria seca, em kcal.kg⁻¹; e

U = conteúdo de umidade do peso de matéria seca, em %.

A quantificação do teor da fração mineral foi feita no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, da Universidade Federal do Paraná. Os passos para incineração do material em mufla foram os seguintes:

- identificação e calcinação dos cadinhos;
- pesagem dos cadinhos vazios e com aproximadamente 5 gramas de material;
- incineração em mufla a 600 °C, por 7 horas; e
- resfriamento em dessecador e pesagem.

O teor de cinzas em percentagem foi calculado da seguinte maneira:

$$T_c = \frac{P_f \cdot 100}{P_i}$$

em que

T_c = teor de cinzas, em %;

P_f = peso final (após incineração), em gramas; e

P_i = peso inicial (antes da incineração), em gramas.

O percentual da fração mineral das diferentes classes de material combustível foi subtraído de 1 % quando o valor encontrado na incineração era superior. Segundo BUCHANAN (1963), o percentual de 1 % é o que faz parte da composição química da madeira.

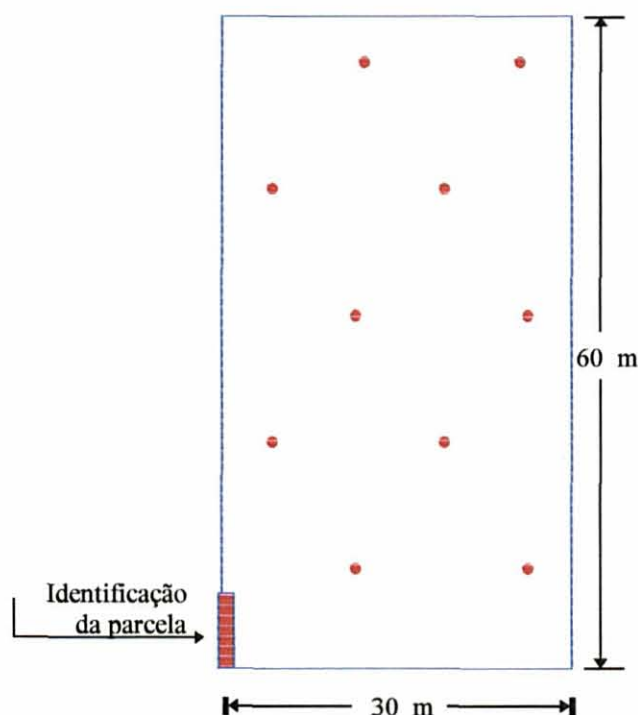
3.3.2 Amostragem e análise de solo

A amostra de solo de cada parcela era composta de 10 pontos amostrais, nos quais o solo era coletado a uma profundidade de 20 cm, utilizando-se trado. Os pontos amostrais foram lançados no 1º, 4º, 7º e 10º intervalos entre fileiras de eucalipto, equidistantes 20 m no sentido das fileiras. No 1º e 7º intervalos a primeira amostra era lançada a 20 m da borda e no 4º e 10º intervalos a primeira amostra localizava-se a 10 m da borda.

Os pontos amostrais foram marcados no campo, para que as amostragens subsequentes fossem tomadas dentro de uma área de 1 m² ao seu redor.

As amostras de solo foram coletadas uma vez antes e 6 vezes depois da queima, em intervalo de aproximadamente 30 dias. Os pontos amostrais foram distribuídos conforme ilustrado na Figura 8.

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS, PARA COLETA DE SOLO, DENTRO DA PARCELA



As amostras, após homogeneizadas, embaladas e identificadas, foram conduzidas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos da

Universidade Federal do Paraná para análise química de rotina, de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1979).

A análise de rotina consistiu na determinação de pH (em CaCl_2), Al^{+3} , $\text{H}+\text{Al}$, $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$, K^+ , T (CTC total) em meq/100 g de solo, P (ppm), C (%), m (% - saturação em Al) e v (% - saturação em bases).

As médias dos elementos do solo analisados foram comparadas da seguinte maneira:

- para um determinado mês de coleta compararam-se as médias dos 3 tratamentos, ou seja, T (controle), F (queima em faixas a favor do vento) e C (queima contra o vento);
- para cada tratamento compararam-se as médias entre os 7 meses de coleta, visando ao monitoramento das variações ocorridas durante o período de coleta dos dados.

Ambas as análises foram realizadas separadamente para os tratamentos da queima de primavera e de outono, empregando o teste de SNK.

3.3.3 Medições dendrométricas

O estudo de rendimento de corte das árvores foi feito com base no volume de madeira existente em cada parcela. A estimativa do volume total da parcela foi feita em duas fases.

a) Medição dos DAP's da metade das árvores da parcela com ajuste de equação hipsométrica, para estimativa das alturas.

Foram medidos os DAP's de 50 % das árvores de cada parcela (em fileira alternada) e altura total em cada classe de diâmetro com intervalo de 2,5 cm. A estimativa da altura das árvores, cujos DAP's foram medidos, foi feita por meio da relação hipsométrica, com ajuste do seguinte modelo:

$$h = \left[\frac{\text{DAP}}{b_0 + b_1 \cdot \text{DAP}} \right]^2 + 1,3$$

A avaliação da equação foi feita pelo erro-padrão da estimativa em percentagem ($S_{y..x}$ %), coeficiente de determinação e análise de resíduos.

O cálculo do $S_{y..x}$ %, nesses modelos que envolvem transformação da variável dependente, foi feito com base no seguinte procedimento:

$$S_{y..x \text{ corrigido}} = \sqrt{\frac{\sum (h_{\text{obs}} - \hat{H})^2}{(n - 1 - p)}}$$

$$S_{y..x \text{ corrigido}} (\%) = \frac{S_{y..x \text{ corrigido}}}{h_m} \cdot 100$$

em que

$S_{y..x \text{ corrigido}}$ = erro-padrão da estimativa corrigido;

$S_{y..x \text{ corrigido}} (\%)$ = erro-padrão da estimativa em percentagem;

h_{obs} = altura observada;

\hat{H} = altura estimada;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes da regressão; e

h_m = altura média observada.

O volume foi estimado pela fórmula:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h \cdot f_r$$

em que

V = volume;

d = DAP medido no campo;

h = altura estimada pela equação ajustada; e

f_f = fator de forma (o fator de forma da área de estudo, determinado pela empresa, é 0,43).

b) Estimativa do volume da metade da parcela, cujos DAP's não foram medidos.

Contou-se o número de árvores que não foram medidas e os volumes foram estimados pelo método da árvore-modelo estratificado. Este método, considerado mais preciso que os demais, quando a estimativa do volume é feita por amostragem, consistiu do seguinte:

b.1) Cálculo do volume da árvore-modelo com base nos DAP's medidos e altura estimada pela relação hipsométrica ajustada:

Os cálculos seguiram os seguintes passos:

- estratificação dos DAP's em classes com intervalos de 5 cm;
- cálculo das frequências de cada classe (f_c); e
- cálculo do diâmetro médio " q_c " para cada classe, de acordo com a fórmula:

$$q_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

em que

q_c = diâmetro médio da classe;

d_i = diâmetro à altura do peito; e

n = nº de árvores na classe "c".

- estimativa da altura (h_c), com a equação hipsométrica ajustada, utilizando-se o diâmetro médio " q_c " determinado para cada classe;

- cálculo do volume (V) para cada classe, conforme se segue:

$$V = \left[\frac{\pi q_c^2}{4} \cdot h_c \right] \cdot f_c \cdot f_f$$

em que

V = volume da classe “c”;

q_c = diâmetro da classe “c”;

h_c = altura estimada da classe “c”;

f_c = frequência da classe “c”; e

f_f = fator de forma.

- cálculo do volume da árvore-modelo - é o somatório do volume das classes diamétricas de cada parcela dividido pelo número de árvores que originaram tal volume (ou somatório das f_c 's);

b.2) Estimativa do volume da metade não medida da parcela:

- foi feita pela multiplicação do volume da árvore-modelo pelo número de árvores que não foram medidas.

3.3.4 Obtenção dos dados meteorológicos

As informações meteorológicas foram coletadas na estação instalada na sede da empresa. Os dados foram utilizados no monitoramento das condições diárias, visando estabelecer o dia ideal para a queima.

A umidade relativa do ar e a temperatura foram também medidas no dia da queima, em intervalos de uma hora, do início ao final da aplicação dos tratamentos.

3.3.5 Corte das árvores

As árvores foram cortadas com um trator derrubador *feller buncher* de tesoura, marca Implanor Bell. Foram utilizados a mesma máquina e o mesmo tratorista em todas as

parcelas e nas duas épocas de queima. O procedimento de corte foi o mesmo usado pelo operador da máquina na colheita de rotina da empresa.

O tempo de efetivo trabalho, considerando apenas a operação de corte e formação dos feixes para arraste, foi cronometrado para cada parcela.

Foi feita uma análise de contrastes ortogonais para avaliar a diferença entre tratamentos, com base no tempo gasto para o corte das árvores e uma análise de correlação entre a declividade com o tempo e rendimento de corte e deste com o número de árvores e volume.

3.3.6 Número de cepas brotadas e altura da brotação

O número de cepas brotadas foi contado no quinto mês após o corte das árvores. Foram consideradas todas as cepas que emitiram brotos, independente do tamanho no dia da contagem.

No sétimo mês após a queima (6 meses e meio após o corte das árvores) mediu-se a altura das brotações para determinação da altura média por parcela. As medições foram feitas com uma régua graduada em centímetros.

As médias da altura e da percentagem de brotação foram comparadas dentro de cada época (teste de T) e entre as duas épocas de queima (teste de SNK). Uma análise de correlação foi feita entre a altura e percentagem de brotação e a intensidade de queima e energia liberada por unidade de área. A percentagem de regeneração foi correlacionada, também, com o diâmetro médio das árvores.

3.3.7 Análise de tecido da brotação (folha)

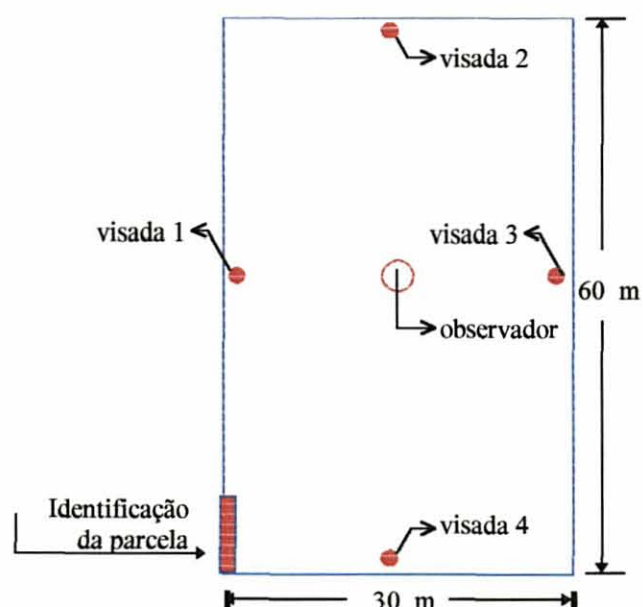
A análise de tecido das folhas da brotação feita para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi realizada no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, pelo método proposto por HILDEBRAND (1976).

Os teores dos nutrientes mineral encontrados antes e depois da queima foram comparados pelo teste de T.

3.3.8 Medição da declividade das parcelas

A inclinação das parcelas foi medida com clinômetro, fazendo-se 4 visadas, como ilustrado na Figura 9.

FIGURA 9 - PONTOS DE VISADA E POSICIONAMENTO DO OBSERVADOR PARA A MEDIÇÃO DA DECLIVIDADE DA PARCELA



A declividade foi medida no sentido longitudinal (maior comprimento) e transversal (menor comprimento da parcela) e a declividade média foi calculada com base na fórmula proposta por JENSEN (1986):

$$D_m = \frac{\sum \left[\frac{\text{Declividade obs.}}{\text{Distância}^2} \right]}{\sum \left[\frac{1}{\text{Distância}^2} \right]}$$

em que

D_m = declividade média;

Declividade obs. = leitura observada; e

Distância = distância do observador ao ponto de visada.

A declividade, individualmente e associada com o volume de madeira e com o tipo de queima, foi correlacionada com o tempo de corte de cada parcela.

3.3.9 Determinação das variáveis associadas com o comportamento do fogo

O fogo é um fenômeno complexo e muito variável. A caracterização do seu comportamento pode ser feita pela medição direta de alguns parâmetros ou indiretamente pela combinação destes. Nesse estudo foram estimadas as seguintes variáveis:

a) Velocidade de propagação do fogo

A propagação do fogo é uma variável de medição direta no campo. Ela pode ser interpretada individualmente ou compondo algumas equações para determinação de outras variáveis.

A velocidade de propagação do fogo foi calculada mediante cronometragem do tempo gasto para o fogo percorrer determinada distância. A unidade empregada foi metros por segundo.

A linha de fogo, em qualquer técnica de queima, era acesa de forma que o fogo percorresse o maior comprimento da parcela (60 m). Na queima em faixas a favor do vento cronometrava-se o tempo gasto para o fogo queimar cada faixa, cuja largura era medida quando a linha de fogo era acesa. Neste caso, a velocidade de propagação final era calculada pela média da velocidade registrada nas faixas. O número de faixas era variável para cada parcela e dependia da distância entre elas. A largura das faixas (que variou entre 3 e 8 m) dependia da velocidade com que o fogo se propagava e do tempo de acendimento das linhas de fogo. Quanto mais rápida a queima, mais estreita era a faixa e,

conseqüentemente, o número de faixas por parcela aumentava. Esse procedimento foi adotado para manter a situação sobre controle e obter uma queima homogênea sobre toda a parcela.

Uma análise de correlação foi realizada entre a velocidade de propagação e as seguintes variáveis: espessura da camada em decomposição; espessura da camada de serapilheira e material verde; carga de material combustível; umidade da classe de material combustível C-1MF; umidade da classe de material combustível C-1MV; umidade relativa do ar; temperatura do ar; e declividade média das parcelas.

b) Intensidade da linha de fogo

A intensidade da linha de fogo foi estimada pela equação de BYRAM (1959):

$$I = H.w.r$$

em que

I = intensidade da linha de fogo, em $\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$;

H = poder calorífico do material combustível úmido, em kcal.kg^{-1} ;

w = quantidade de material combustível disponível, em kg.m^{-2} ; e

r = velocidade de propagação do fogo, em m.s^{-1} .

O poder calorífico, a carga de material combustível e a velocidade de propagação do fogo foram determinados conforme descrito nas letras “c” e “a” do item 3.3.1 e na letra “a” do item 3.3.9, respectivamente.

O material combustível disponível, efetivamente consumido pelo fogo, foi determinado pela diferença entre os resultados encontrados nos inventários preliminar e pós-queima.

A intensidade da linha de fogo foi calculada ponderando-se o poder calorífico e a quantidade de material combustível de cada classe.

Uma análise de correlação simples foi feita com as variáveis espessura da camada em decomposição; espessura da camada de serapilheira e material verde; carga de material combustível; umidade da classe de material combustível C-1MF; umidade da classe de

material combustível C-1MV; umidade relativa do ar; temperatura do ar e velocidade de propagação do fogo, com a finalidade de se estimar o grau de associação entre elas.

c) Energia liberada por unidade de área

Foi calculada mediante a relação entre intensidade e velocidade de propagação do fogo, conforme proposto por ROTHERMEL & DEEMING (1980).

$$Ha = I / r$$

em que

Ha = energia liberada por unidade de área, em kcal.m⁻²;

I = intensidade do fogo, em kcal.s⁻¹.m⁻¹; e

r = velocidade de propagação, em m.s⁻¹.

d) Altura de crestamento

A determinação da altura de crestamento foi baseada em 3 equações apresentadas por VAN WAGNER (1973).

$$h_s = 0,385 \cdot I^{2/3}$$

$$h_s = \frac{11,61 \cdot I^{2/3}}{(60 - T)}$$

$$h_s = \frac{3,94 \cdot I^{7/6}}{(0,107 \cdot I + U^3)^{1/2} \cdot (60 - T)}$$

em que

h_s = altura de crestamento, em metros;

I = intensidade da linha de fogo, em $\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$; e

U = velocidade do vento, em m.s^{-1} .

T = temperatura do ar, fora do local de ocorrência do incêndio, em $^{\circ}\text{C}$.

As médias das alturas de crestamento originadas de cada equação foram comparadas entre si, dentro de uma mesma técnica de queima. Outra análise foi feita, individualmente para cada equação, comparando-se o efeito dos tratamentos. Uma análise de correlação também foi feita entre a altura de crestamento e a altura de carbonização.

e) Altura de carbonização

A altura de carbonização média para cada parcela foi determinada a partir da medição das marcas deixadas no tronco pelas chamas. Não foram consideradas as marcas duvidosas provocadas pela queima de cascas presas ao tronco ou pela proximidade de vegetação de maior porte.

A altura de carbonização, por ser uma variável de fácil medição, foi correlacionada com a intensidade do fogo, com a velocidade de propagação, com a espessura da camada de serapilheira, com a carga de material combustível e com altura de crestamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INVENTÁRIO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

Em um levantamento expedito, visando à caracterização da área de estudo, foram detectadas as seguintes espécies originadas de regeneração natural (Tabela 4).

TABELA 4 - ESPÉCIES LEVANTADAS NO INVENTÁRIO EXPEDITO

Família	Nome científico	Nome comum
Agavaceae	<i>Cordyline</i> sp.	uvarana
Annonaceae	<i>Annona cacans</i>	ariticum
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	pinheiro-brasileiro
Asteraceae	<i>Piptocarpha angustifolia</i>	vassourão-branca
Bignoniaceae	<i>Jacaranda</i> sp.	caroba
Clethraceae	<i>Clethra</i> sp.	carne-de-vaca
Cyperaceae	<i>Rynchospora</i> sp.	
Flacourtiaceae	<i>Casearia</i> sp.	guaçatonga
Lauraceae	<i>Cinnamomum vesiculosum</i>	canela-alho
Melastomataceae	cf. <i>Leandra</i> sp.	
Melastomataceae	cf. <i>Leandra</i>	pixirica
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro
Mimosaceae	<i>Inga</i> sp.	
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i>	capororoquinha
Myrsinae	<i>Myrsine umbellata</i>	capororocão
Myrtaceae	cf. <i>Eugenia</i>	pitanga
Pinaceae	<i>Pinus</i> sp.	pinus
Poaceae	<i>Pseudoechinolaena</i>	
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.	amora
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> cf. <i>rhoifolium</i>	mamica-de-porca
Sapindaceae	<i>Matayba elaeagnoides</i>	miguel-pintado
Solanaceae	<i>Solanum</i> sp.	fumo-bravo
Solanaceae	<i>Solanum sanctae-catarinae</i>	canema
Symplocaceae	<i>Symplocos</i> cf. <i>celastrinae</i>	maria-mole

Algumas dessas espécies chegavam a atingir até quatro metros de altura. Esse material não foi inventariado para determinação do peso por unidade de área por não ser determinante no comportamento do fogo da queima controlada que se pretendia realizar.

Entretanto, em alguns casos foi afetado diretamente pelas chamas ou sofreu crestamento em virtude da elevação dos gases aquecidos durante a queima.

A equação hipsométrica ajustada com o coeficiente de determinação de 0,98 e erro-padrão da estimativa de 7,8 %, foi:

$$h = \left[\frac{\text{DAP}}{1,3629 + 0,154404 \cdot \text{DAP}} \right]^2 + 1,3$$

A Tabela 5 apresenta o volume médio, parcial e total e o número total de árvores por tratamento, das parcelas da queima de primavera e de outono.

TABELA 5 - VOLUME (m³) DA ÁRVORE-MODELO POR TRATAMENTO, VOLUME PARCIAL (m³) COM BASE NA ÁRVORE-MODELO E NAS MEDIÇÕES PARA AS DUAS ÉPOCAS DE QUEIMA E NÚMERO DE ÁRVORES MEDIDAS E NÃO-MEDIDAS

Parcela- tratam.	árv. não medidas	árv. medidas	N. total árvores	Vol. da árv- modelo	Vol. parcial árv.- modelo	Vol. baseado nas medições	Volume total da parcela
	(a)	(b)			(c)	(d)	(e) ¹
Tp	445	423	868	0,5147	23,2138	23,3677	46,5815
Fp	473	456	929	0,4142	20,1817	20,2784	40,4601
Cp	448	447	895	0,4411	21,1188	21,1579	42,2768
To	452	434	886	0,4855	22,6446	22,7259	45,3705
Fo	469	454	923	0,5230	25,5830	25,6712	51,2542
Co	453	475	928	0,4759	24,2546	24,1384	48,3930

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ e = ((a*c)/b) + d.

Os valores comprovam a necessidade de se avaliar o rendimento de corte com base no volume e não no número de árvores. Observando-se os valores da queima de primavera verifica-se que as parcelas da queima em faixas a favor do vento são as que possuem o maior número de árvores, entretanto, são as que têm menor volume em relação aos outros 2 tratamentos.

A tabela, com o número de árvores medidas e o total por parcela e os volumes estimados conforme o item 3.3.3 de Materiais e Métodos, estão apresentados no Anexo A.

O Anexo B contém os valores de frequência, diâmetro médio, altura e volume da árvore modelo por classe e parcela.

A quantificação do material combustível é uma etapa fundamental em qualquer trabalho de avaliação dos parâmetros da queima controlada e dos efeitos do fogo. O material orgânico morto não decomposto ou em estágio inicial de decomposição, situado acima da superfície do solo, e o material verde, de espessura fina, são os mais diretamente afetados pelo fogo. Geralmente a quantidade, o arranjo, a distribuição e o tipo (classe) desse material é que determinam a sustentação e, conseqüentemente, a dispersão do fogo.

Segundo McARTHUR (1962), todos os estudos relativos ao uso do fogo em eucalipto indicam que a quantidade de material combustível disponível sobre o piso florestal é uma das variáveis mais significativas que afeta o comportamento do fogo. Portanto, o conhecimento dos processos de acúmulo do *litter* e dos efeitos do combustível disponível durante a combustão é fundamental.

O inventário do material combustível depois da queima foi mais simples que o inicial, em termos operacionais, por motivos como acesso mais fácil à área; menor volume de material a amostrar; e redução da classe C-1, que passou a ser representada, praticamente, pela subclasse C-1MD. O trabalho, entretanto, tornou-se mais insalubre, em virtude do carvão e da poeira de cinzas formada durante o manuseio do material.

Os valores médios da quantidade de material combustível, com base no peso de matéria seca, estão apresentados na Tabela 6 para o inventário preliminar e, na Tabela 7, para o inventário pós-queima, mostrando as quantidades, por classe, incineradas e não-incineradas, para as duas épocas de queima.

A coluna “sem cinza” de cada classe corresponde à quantidade de material combustível, subtraído o teor de cinzas, determinado por meio da incineração das respectivas amostras em mufla. A necessidade deste procedimento deveu-se à constatação da presença da fração mineral, principalmente nas classes C-1MV e C-1MD. Na primeira classe constatou-se, após secagem, presença de solo preso às raízes que se encontravam na camada superficial. Na segunda, por ser uma classe que se encontra em contato direto com solo, era inevitável a coleta da fração mineral juntamente com a fração orgânica. Em outras situações era difícil a separação precisa entre a parte orgânica e a parte mineral.

TABELA 6 - MÉDIAS DO PESO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m^{-2}), INCINERADO E NÃO-INCINERADO POR CLASSE, ÉPOCA E TÉCNICA DE QUEIMA, ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tra- ta- mento	C l a s s e s									Total	
	C-1MF		C-1MV		C-1MD		C-2		C-3*		
	bruto	sem cinza	bruto	sem cinza	bruto	sem cinza	bruto	sem cinza	bruto	bruto	sem cinza
Tp	975,2	947,3	237,1	219,8	1764,5	1131,0	114,0	113,9	13,8	3104,6	2425,7
Fp	1045,6	1027,3	299,5	274,7	2196,8	1515,3	148,3	148,2	9,2	3699,4	2974,8
Cp	911,6	896,5	241,9	215,9	1760,1	1219,4	111,2	111,2	10,0	3034,8	2453,0
Média	977,5	957,0	259,5	236,8	1907,1	1288,6	124,5	124,4	11,0	3279,6	2617,8
To	1083,6	1056,7	313,8	284,7	2067,2	1291,5	118,2	118,2	4,3	3587,1	2755,3
Fo	1031,4	1009,9	322,4	291,6	2299,7	1553,3	141,3	141,3	0,0	3794,8	2996,1
Co	1096,2	1058,3	264,9	251,7	1856,1	1124,0	119,2	119,1	17,5	3354,0	2570,6
Média	1070,4	1041,6	300,4	276,0	2074,4	1322,9	126,2	126,2	7,3	3578,6	2774,0

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

* O percentual de cinzas para a classe C-3 não foi determinado.

A mesma distribuição verificada entre as classes de material combustível no inventário inicial foi observada também nas classes C-2 e C-3. A classe C-3 apresentou-se muito dispersa na área, não sendo encontrada nas parcelas que receberam tratamento de queima contra o vento de primavera e outono e em faixas a favor do vento da queima de outono, apesar desta última também não ter sido encontrada no inventário inicial.

TABELA 7 - MÉDIAS DO PESO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m^{-2}), INCINERADO E NÃO-INCINERADO POR CLASSE, ÉPOCA E TÉCNICA DE QUEIMA, APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Trata- men- to	C l a s s e s					Total	
	C-1		C-2		C-3*		
	bruto	sem cinza	bruto	sem cinza	bruto	bruto	sem cinza
Fp	1630,9	1199,0	61,7	61,7	3,5	1696,1	1264,2
Cp	1476,4	1066,4	44,5	44,5	0,0	1521,0	1110,9
Média	1553,7	1132,7	53,1	53,1	1,8	1608,6	1187,6
Fo	1841,3	1232,2	42,5	42,4	0,0	1883,8	1274,6
Co	1654,1	1090,8	54,1	53,9	0,0	1708,3	1144,7
Média	1747,7	1161,5	48,3	48,2	0,0	1796,0	1209,7

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

* O percentual de cinzas para a classe C-3 não foi determinado.

A classe C-3 foi pouco representativa, por causa da baixa frequência e do estado de decomposição em que o material se encontrava. O avançado grau de decomposição, de grande parte do material amostrado, pode ser uma das causas de sua redução pelo fogo,

conforme registrado no inventário depois da queima. Tendo em vista estes fatores (grau de decomposição, pequena quantidade e grande dispersão), pode-se deduzir que esta classe contribuiu muito pouco para a sustentação e manutenção do fogo. BROWN *et al.* (1982) disseram que a quantidade e distribuição de vegetação, especialmente o material lenhoso sobre o solo, apresentam grande variação entre os povoamentos e dentro deles.

Tendo em vista que a taxa de redução de material combustível foi relativamente alta (média geral de cerca de 56 %), era de se esperar que a situação antes da queima fosse diferente estatisticamente da situação depois. A classe C-3 apresentou diferença significativa apenas para a queima contra o vento de outono. Esta classe participa com baixo percentual na composição total do material combustível, resultando numa variação muito alta e, com isso, um baixo valor de T calculado (Tabela 8).

TABELA 8 - MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m^{-2}), POR CLASSE E TRATAMENTO, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA DE PRIMAVERA E OUTONO

Trata- men- to	C l a s s e s						Total	
	C-1		C-2		C-3			
	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
Fp	2817,4 *	1199,0 *	148,2 *	61,7 *	9,2	3,5	2974,8 *	1264,2 *
Cp	2331,8 *	1066,4 *	111,2 *	44,5 *	10,0	0,0	2453,0 *	1110,9 *
Fo	2854,8 *	1232,2 *	141,3 *	42,4 *	0,0	0,0	2996,1 *	1274,6 *
Co	2433,9 *	1090,8 *	119,1 *	53,9 *	17,5 *	0,0 *	2570,6 *	1144,7 *

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Pares de médias (na linha, para cada classe) seguidas por "*" diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10% (compara situação antes e depois da queima para cada classe).

A quantidade total de material combustível levantada no presente estudo, já descontado o teor de cinzas, foi de aproximadamente 27,1 e 27,8 t.ha^{-1} , para as queimas de primavera e outono respectivamente. Em povoamentos de pinus, cuja composição de material combustível é fundamentalmente diferente, SOARES (1979a) estimou, por meio do ajuste de equações baseadas em área basal e idade do povoamento, que a quantidade total de material combustível variava de 1,224 a 17,338 t.ha^{-1} , para *Pinus oocarpa* com idade variando entre 5 e 7,5 anos e de 2,286 a 13,792 t.ha^{-1} para *P. caribaea* var. *hondurensis*, com idade variando entre 4,5 e 7,5 anos.

BOYER (1990) encontrou em inventário feito por amostragem, em povoamentos adultos de *Pinus palustris* e *P. elliottii*, quantidade de material combustível variando de 4,4

a 7,8 t.ha⁻¹ e de 4,6 a 9,8 t.ha⁻¹ respectivamente para queima realizada em 2 anos diferentes, mas os povoamentos haviam sido submetidos a queima controlada 2 anos antes da realização deste inventário.

Amostras do material coletado antes e depois da queima foram incineradas em mufla para determinação do teor da fração mineral, cujos resultados são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 - PERCENTAGEM MÉDIA DA FRAÇÃO MINERAL POR CLASSE E POR ÉPOCA DE QUEIMA, ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Antes da queima				Depois da queima	
	C-1MF	C-1MV	C-1MD	C-2	C-1	C-2
Fp	2,81	9,31	31,30	0,78	27,82	0,86
Cp	2,69	10,51	31,06	0,80	28,39	0,93
Média	2,75	9,91	31,18	0,79	28,10	0,90
Fo	3,14	8,49	33,57	0,73	34,31	1,26
Co	4,50	6,01	40,20	0,86	36,42	1,38
Média	3,82	7,25	36,89	0,79	35,36	1,32

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

A fração mineral nas classes C-1MV e C-1MD foi da ordem de 31 e 37 % para a classe C-1MD das parcelas dos tratamentos de primavera e outono, respectivamente, antes da queima (Tabela 8). Esses valores foram, em ordem decrescente, menores para as classes C-1MF e C-2, mostrando coerência dos resultados, uma vez que a classe C-2, que é composta apenas por material lenhoso, possui um percentual em torno de 1 %, correspondente ao valor médio de teor de cinza da composição química da madeira (BUCHANAN, 1963). A classe C-1MF, composta por material orgânico de tamanho inferior a 0,6 cm, acusou baixo percentual de cinza, e sua contaminação pode ter ocorrido durante os preparos da área a ser amostrada e pelas outras classes, principalmente pela C-1MV, no momento da coleta.

A classe C-1, depois da queima, apresentou médias de cerca de 28 e 35 % de teor mineral, para as queimas de primavera e outono, respectivamente. É importante observar que mesmo não havendo ramos e principalmente folhas verdes da classe C-1MV, existentes antes da queima, o material ainda se encontrava enraizado, provocando revolvimento do solo quando coletado, além do contato direto do material com o solo, resultando num percentual significativo de fração mineral.

As classes C-1MF e C-1MV foram praticamente eliminadas ou reduzidas a fragmentos menores, facilitando a coleta do material remanescente. A classe C-2 manteve o percentual de teor mineral dentro dos limites da composição química da madeira.

A composição do material combustível de cada classe em termos percentuais, separadamente para a queima de primavera e de outono, e para a situação antes e depois da aplicação dos tratamentos é apresentada na Tabela 10.

TABELA 10 - PERCENTAGEM MÉDIA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL, POR CLASSE E ÉPOCA DE QUEIMA, ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Subclasses de C-1			C l a s s e s						Total	
	antes da queima			C-1		C-2		C-3			
	C-1MF	C-1MV	C-1MD	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
Fp	18,93	5,06	27,92	51,91	50,48 ns	2,73	2,60 ns	0,17	0,15 ns	54,81	53,23 ns
Cp	16,52	3,98	22,47	42,96	44,90 ns	2,05	1,87 ns	0,18	0,00 ns	45,19	46,77 ns
Total	35,45	9,04	50,38	94,87	95,38	4,78	4,47	0,35	0,15	100,00	100,00
Fo	18,18	5,25	27,75	51,18	50,93 ns	2,54	1,75 ns	0,00	0,00 ns	53,72	52,68 ns
Co	19,05	4,53	20,24	43,82	45,09 ns	2,14	2,23 ns	0,32	0,00	46,28	47,32 ns
Total	37,23	9,78	47,98	95,00	96,02	4,69	3,98	0,32	0,00	100,00	100,00

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Pares de médias (na linha, para cada classe) seguidas por "*" diferem estatisticamente pelo teste T, a 10%.

ns = não-significativo.

O percentual médio de cada classe, antes das queimas de primavera e outono, demonstra a homogeneidade de distribuição do material combustível sobre a área de estudo. A classe 1, compreendendo as classes C-1MF, C-1MV e C-1MD, correspondeu a aproximadamente 95 % do material combustível amostrado. Desse total, cerca da metade era da classe C-1MD, material já em decomposição e sem forma definida. A outra metade era formada pelas classes C-1MF e C-1MV, compreendendo o material combustível de pequena espessura e que, segundo ROTHERMEL (1972), é o material primeiramente atingido pelas chamas e responsável pela sustentação e dispersão do fogo. Os 5 % restantes pertenciam às classes C-2 e C-3, correspondendo ao material lenhoso de maior dimensão.

Van LOON (1969) encontrou em um trabalho realizado em *Eucalyptus pilularis* 84 % do material combustível pertencente à classe C-1, 6 % à classe C-2 e 10 % à classe C-3, sendo que esta última envolvia material com espessura acima de 2,5 cm, enquanto no presente estudo a classe C-3 era composta por material de até 7,6 cm. Nestes percentuais também não está considerado o material combustível verde.

A quantidade percentual de material combustível permaneceu praticamente a mesma para as classes C-1 e C-2, considerando a situação antes e depois da queima. Para a classe C-3 houve uma redução, tendo em vista que não foi encontrado nenhum material nas parcelas dos tratamentos contra o vento de primavera e de outono, além da ausência dessa classe para o tratamento a favor do vento do inventário preliminar. Entretanto, a participação da classe C-3 no conjunto total da composição de material combustível foi muito baixa, ou seja, 0,42 e 0,26 % para as queimas de primavera e outono, respectivamente, no inventário preliminar.

O teste de T, usado na comparação do percentual de material combustível antes e depois da aplicação dos tratamentos, não mostrou diferença significativa para cada classe e para o total, indicando que o fogo agiu de maneira uniforme sobre todo o conjunto de material combustível, exceto para classe C-3 (Tabela 10).

A Tabela 11 contém as médias do material combustível disponível juntamente com o percentual de redução por classe, total e época de queima.

TABELA 11 - MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL DISPONÍVEL (g.m^{-2}), POR CLASSE E TRATAMENTO, E PERCENTUAL DE REDUÇÃO DAS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO

Tra- ta- men- to	C l a s s e s						Total	
	C-1		C-2		C-3			
	comb. disp.	% red.	comb. disp.	% red.	comb. disp.	% red.	comb. disp.	% red.
Fp	1618,4 *a	57,4 a	86,5 a	58,4 a	5,7 ab	61,9 a	1710,6 *a	57,5 a
Cp	1265,4 *a	54,3 a	66,7 a	60,0 a	10,0 ab	100,0 a	1342,1 *a	54,7 a
Média	1441,9	55,9	76,6	59,2	7,8	81,0	1526,3	56,1
Fo	1622,6 a	56,8 a	98,8 a	70,0 a	0,0 a	0,0 a	1721,5 a	57,5 a
Co	1343,2 a	55,2 a	65,2 a	54,7 a	17,5 b	100,0 a	1425,9 a	55,5 a
Média	1482,9	56,0	82,0	62,3	8,8	100,0	1573,7	56,5

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Médias seguidas da mesma letra entre os quatro tratamentos, para cada classe e total, não diferem entre si pelo teste de SNK, a 10%.

Pares de médias seguidas de "***", dentro de cada época de queima, diferem estatisticamente pelo teste T, a 10 %.

A média geral de redução de material combustível, considerando as duas épocas de queima e os tratamentos, foi de cerca de 56 %. Este percentual médio é praticamente o mesmo da classe C-1 e inferior aos das classes C-2 e C-3 (60 e 90 %, respectivamente). Com isso, pode-se verificar que as classes C-2 e C-3 foram mais consumidas que a classe

C-1, embora a composição de material combustível pré-queima, representada por estas classes, correspondesse a apenas 4,74 e 0,34 %, respectivamente, da quantidade total de material combustível de cada época de queima. A classe C-1, formada pelo material combustível fino, é a que conduz a queima, pois em termos absolutos foram consumidos, em média, cerca de 1.460 g.m^{-2} de material combustível desta classe e aproximadamente 75 e $8,3 \text{ g.m}^{-2}$ das classes C-2 e C-3, respectivamente.

SOARES (1979b) observou uma redução da quantidade de material combustível da ordem de 90 % para *Pinus oocarpa* e de 91 % para *P. caribaea* var. *hondurensis* na região de Sacramento, Estado de Minas Gerais. BATISTA (1995) encontrou redução de material combustível em queima controlada conduzida sob povoamento de *P. taeda*, na região de Sengés, Estado do Paraná, variando de 26,01 % a 41,28 % para queima contra o vento e de 16,95 % a 52,79 % para queima a favor do vento. Van LOON (1969), empregando os mesmos procedimentos de inventário utilizados no presente estudo, chegou a um percentual médio de redução de 70 % em área coberta por eucalipto, enquanto BOYER (1990) registrou uma redução de 30 a 67 % e de 11 a 18 % em duas queimas realizadas em povoamentos adultos de *P. palustris* e *P. elliottii*, com intensidade variando de 90 a $141 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e de 24 a $109 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$, respectivamente.

McARTHUR & CHENEY (1966) mencionam que a quantidade de material combustível consumido durante uma queima varia com a intensidade do fogo, isto é, maior quantidade de combustível é normalmente consumida em queima a favor do vento, em razão da maior intensidade. No presente estudo, observou-se que na queima em faixas a favor do vento o percentual de redução foi de 57,5 % para as duas épocas de queima. Na queima contra o vento verificou-se redução de 54,7 e 55,5 % na primavera e outono, respectivamente. Isso significa que a técnica de queima em faixas a favor do vento consumiu $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$ na primavera e $2,9 \text{ t.ha}^{-1}$ no outono a mais que a queima contra o vento.

Nenhuma diferença estatística significativa foi detectada nos percentuais de redução de material combustível, entre as duas épocas de queima, quando comparadas todas as combinações de tratamento. As médias não são estatisticamente diferentes dentro de cada classe e para o total de material combustível (Tabela 11). A classe C-3 apresentou comportamento diferente das demais pelo fato de não ter sido encontrado material no inventário inicial das parcelas da queima em faixas a favor do vento e no inventário pós queima das parcelas das duas técnicas da queima de outono. Portanto, a ação do fogo, com

respeito à taxa de redução de material combustível, não foi estatisticamente diferente para tratamentos e época de queima.

Para eliminar a dúvida de que as diferenças da quantidade de material combustível antes da aplicação dos tratamentos pudessem ter algum efeito sobre a quantidade de material combustível depois da queima, uma vez que o processo de combustão não tem um comportamento linear, foi feita uma análise de covariância. Empregou-se como variável a quantidade de material combustível depois da queima e como co-variável a quantidade de material combustível antes da queima. O resultado da análise de covariância está apresentado na Tabela 12, revelando uma diferença significativa entre as condições pré e pós-queima e confirmando os resultados apontados pelo teste de comparação de média.

TABELA 12 - ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Fonte de variação	G.L.	Soma dos produtos			G.L.	S.Q.	Q.M.	F
		Y^2	$X.Y$	X^2				
Repetição	3	869454,70	421900,21	267212,10				
Tratam.	4	4900827,54	-991285,66	1259743,75				
Erro	12	706614,01	396999,89	803996,42	11	200968,03	18269,82	
Total	19	6476896,25	-172385,57	2330952,28				
Trat+Erro	16	5607441,55	-594285,77	2063740,18	15	5436307,81		
Trat. (ajust)					4	5235339,78	1308834,94	71,64

A grande variação da quantidade de material combustível nas classes C-2 e C-3 antes da queima e o percentual de redução provocado pelo fogo resultaram no aumento da variância, dada a escassez desse material e, com isso, uma redução do T calculado. O fogo atua mais uniformemente sobre o material combustível fino (classe C-1) que sobre o material mais espesso (classes C-2 e C-3), por causa da maior continuidade e da melhor distribuição espacial (arranjo mais uniforme). Além do mais, a combustão do material combustível da classe C-1 é mais homogênea, por ser uma classe cujo tamanho das partículas é menor e mais fina e, com isso, perde umidade mais rapidamente quando comparado ao material das classes C-2 e C-3.

A análise feita sobre a redução de material combustível, discutida anteriormente, considerou a classe C-1 antes da queima como a soma das subclasses C-1MF, C-MV e

C-1MD. Supondo-se que todo o material pertencente às subclasses C-1MF e C-1MV foi consumido durante a queima, o percentual de redução soma 45 % dos 55 % de redução sofrida pela classe C-1. Dessa forma, a subclasse C-1MD passa a ter uma redução de somente 10 %. Caso a comparação seja feita entre a subclasse C-1MD (antes da queima) e C-1 (depois da queima) o percentual de redução da classe C-1 apresenta resultados diferentes daqueles já discutidos. Van LOON (1969) encontrou uma taxa de redução de 100 % para a vegetação viva, apesar de participar com apenas 1 % da carga de material combustível total. Para a classe denominada miscelânea, composta por material combustível fino e com quantidade em torno de 18 % da carga total de material combustível, houve uma redução de 2 %. BROWN *et al.* (1991) registraram redução média total na quantidade de material combustível de 33 %, em floresta mista de coníferas, no Norte de Idaho, EUA. O consumo do material pertencente às classe de 0-2,5 cm foi de 94 %, e da classe de 2,5-7,6 cm, de 81 %.

É provável que parte do material das subclasses C-1MF e C-1MV, que não foi queimada mas reduzida a partículas menores, foi incorporada à subclasse C-1MD remanescente ou à classe C-1 após a queima, aumentando a quantidade desse material por unidade de área e, conseqüentemente, diminuindo o percentual de redução. O menor efeito do fogo sobre a subclasse C-1MD ocorreu pelo fato do material estar mais próximo do solo, ser mais compacto e mais úmido e, portanto, de combustão mais difícil. A quantificação do material que é adicionado dessa maneira é de difícil, senão impossível, avaliação. Na Tabela 13 estão os resultados da comparação das quantidades médias de material combustível entre a subclasse C-1MD antes e C-1 depois da passagem do fogo.

Com base nos resultados observa-se que houve diferença estatística significativa apenas para a queima em faixas a favor do vento de primavera. A comparação dos outros tratamentos não mostrou diferença significativa entre as condições antes e depois da queima. Apesar do acréscimo de material combustível que porventura tenha ocorrido, devido ao fracionamento do material combustível ou de cinzas provenientes das subclasses C-1MF e C-1MV, a não-eliminação da camada em decomposição é desejável, pois, pelas suas características isolantes, protege o solo das altas temperaturas no momento da queima e continua a protegê-lo das intempéries climáticas depois da queima.

TABELA 13 - MÉDIAS DA QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (g.m^{-2}) DA SUBCLASSE C-1MD ANTES E DA CLASSE C-1 DEPOIS DA QUEIMA

Trata- mento	C l a s s e s	
	C-1MD antes	C-1 depois
Fp	1515,3 *	1199,0 *
Cp	1219,4	1066,4
Fo	1553,4	1232,2
Co	1124,0	1090,8

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono. Pares de médias seguidas de “*” diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10 %.

Com relação ao material combustível disponível, ou seja, a quantidade de material combustível que foi realmente consumida pelo fogo, nota-se pela comparação das médias comportamento diferente do percentual de redução.

Quando comparadas as duas épocas de queima em conjunto, pelo teste de SNK, não foi detectada nenhuma diferença significativa entre os tratamentos, para nenhuma classe de material combustível disponível, com exceção da classe C-3 da queima de outono. Esta classe, como já mencionado, participou com baixo percentual na composição total do material combustível, além de ser muito dispersa na área. A diferença estatística significativa, detectada entre os 2 tratamentos da queima de outono, ocorreu em razão da ausência do material na queima em faixas a favor do vento, no inventário pré e pós-queima e na queima contra o vento no inventário pós-queima. Esta mesma diferença foi também detectada pelo teste de “T” ao se comparar as médias duas a duas, dentro de uma mesma época de queima.

As duas técnicas de queima também diferiram entre si pelo teste de “T” para a classe C-1MD, com reflexo no total de material combustível disponível da queima de primavera. Neste caso, a queima em faixas a favor do vento consumiu em média cerca de $368,5 \text{ g.m}^{-2}$ de material combustível a mais que a queima contra o vento, ficando claro que a quantidade total de material combustível foi dependente da classe C-1 tendo em vista a diferença estatística observada (Tabela 11).

Da mesma forma que para a análise da quantidade de material combustível antes e depois da queima, foi feita também para o material combustível disponível uma análise de

covariância, visando eliminar o efeito das diferenças na quantidade de material combustível das parcelas antes da aplicação dos tratamentos. Neste caso, a variável foi a quantidade de material combustível consumida e a co-variável a quantidade existente antes da queima.

A Tabela 14 mostra os resultados da análise de covariância e o teste de significância para os tratamentos ajustados, confirmando as diferenças detectadas pelo teste de média, ou seja, a análise de covariância indica que existe pelo menos 2 tratamentos diferentes entre si após isolados os efeitos das diferenças iniciais entre a carga de material combustível das parcelas.

TABELA 14 - ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Fonte de variação	G.L.	Soma dos produtos			G.L	S.Q.	Q.M.	F
		Y^2	$X.Y$	X^2				
Repetição	3	165847,84	-35844,46	267212,10				
Tratam.	4	2909019,31	-255591,27	1259743,75				
Erro	12	1120784,69	565486,52	803996,42	11	167754,65	15250,42	
Total	19	4195651,83	274050,78	2330952,28				
Trat+Erro	16	4029804,00	309895,25	2063740,18	15	3983269,52		
Trat. (ajust)					4	3815514,87	953878,72	62,55

4.2 REDUÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA EM DECOMPOSIÇÃO

As medições da espessura das camadas C-1MF+C-MV foram feitas antes de qualquer alteração na disposição do material combustível. A camada em decomposição corresponde ao combustível que está em contato direto com o solo, formando uma faixa compacta, cujo material não possui forma definida. A outra camada (L) correspondeu ao material combustível aéreo, compreendendo o material verde e o material de desrama natural recente. As médias por parcela, para as queimas de primavera e de outono, estão apresentadas na Tabela 15.

TABELA 15 - MÉDIAS DA ESPESSURA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (cm), ANTES E DEPOIS DA QUEIMA DE PRIMAVERA E OUTONO E PERCENTUAL DE REDUÇÃO POR TRATAMENTO

Tra- ta- mento	Espessura da camada em decomposição		Redução da camada em decomposição		L (cm)
	antes	depois	(antes-depois)	(antes-depois)	
	(cm)	(cm)	(cm)	(%)	
Tp	2,53	2,53	-	-	14,84
Fp	3,35 *	2,18 *	1,18	35,07 a	11,58
Cp	2,48 *	1,88 *	0,60	24,24 a	12,93
To	2,86	2,86	-	-	11,48
Fo	3,18 *	2,10 *	1,08	33,86 a	36,05
Co	3,15 *	2,03 *	1,13	35,71 a	14,88

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.
L=espessura da camada de serrapilheira recente + material verde.

Pares de médias, na linha, seguidas de "*" diferem pelo teste de T, a 10%.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem pelo teste SNK, a 10 %.

A comparação das médias resultou em diferença significativa entre a espessura da camada em decomposição antes e depois da passagem do fogo para os tratamentos a favor e contra o vento, para as duas épocas de queima.

O percentual geral de redução da espessura da camada de material combustível em decomposição foi de cerca de 32,0 %. Esta camada é mais úmida e mais compacta e por isso, menos suscetível ao fogo, protegendo o solo das altas temperaturas durante a queima e, conseqüentemente, com menor percentual de redução pelo fogo.

Quando a redução da quantidade de material combustível foi discutida, em que se comparou apenas a subclasse C-1MD antes da queima com a classe C-1 depois da queima, foi detectada diferença significativa apenas para a queima em faixas a favor do vento de primavera. Parece incoerência não haver diferença estatística para a redução da quantidade de combustível e ocorrer o contrário com a espessura da camada em decomposição. Uma das explicações é a compactação a que o material combustível foi submetido. Mesmo não havendo combustão o material sofreu dessecação, com o murchamento do material vivo (raízes) ou a simples perda de umidade nele contida.

O efeito dos tratamentos sobre a redução da camada em decomposição, comparando as duas épocas de queima em conjunto, não resultou em diferença estatística pelo teste de SNK. Portanto, a técnica de queima e a estação do ano na qual foi feita a queima não exerceram influência na espessura da camada em decomposição. Isso comprova, mais uma

vez, que o fogo atuou de forma homogênea, a exemplo do percentual de redução da quantidade total de material combustível e da quantidade total de material combustível consumido (Tabela 11).

BROWN *et al.* (1991) observaram uma redução média de 3,0 cm, correspondendo a 64 %, numa variação de 29 a 93 %, da espessura da camada em decomposição, em um povoamento de coníferas dominada por *Abies grandis* e *Pinus monticola*. Todas as medidas de consumo de matéria orgânica foram moderadamente correlacionadas com o conteúdo de umidade da camada orgânica superior.

4.3 ANÁLISE DE TECIDO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

O material combustível, inventariado antes e depois da aplicação dos tratamentos, foi analisado para os nutrientes descritos na Tabela 16. Tendo em vista a impossibilidade prática de separação das cinzas e do carvão resultantes da queima, este material foi considerado material combustível remanescente.

TABELA 16 - MÉDIAS DE N, P, K, Ca e Mg, EM %, RESULTANTE DA ANÁLISE DE TECIDO FEITA PARA O MATERIAL COMBUSTÍVEL, ANTES E DEPOIS DA QUEIMA

Trata- mento	N		P		K		Ca		Mg	
	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
Tp	0,84	-	0,05	-	0,27	-	0,49	-	0,08	-
Fp	0,84*	0,78*	0,05	0,05	0,25*	0,10*	0,43*	0,61*	0,07	0,08
Cp	0,75	0,68	0,05	0,05	0,24*	0,10*	0,47*	0,67*	0,07*	0,08*
To	0,74	-	0,05	-	0,26	-	0,42	-	0,07	-
Fo	0,82	0,69	0,05	0,04	0,24*	0,11*	0,40*	0,52*	0,07	0,07
Co	0,82	0,69	0,05*	0,03*	0,29*	0,13*	0,50	0,51	0,08	0,08

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Pares de médias para cada elemento, seguidas de "*" diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10 % (compara situação antes e após a queima).

As variações entre as concentrações de cada nutriente, determinadas antes e depois da queima, foram pouco significativas para o N, P e Mg e mais marcante para o K e Ca.

BRAY & GORHAM (1964)⁷, citados por POGGIANI *et al.* (1987), citam que outros fatores representados pelas condições climáticas, características do solo e tratos culturais podem interferir nas quantidades de folheto depositadas, bem como nas concentrações dos diferentes nutrientes.

O Anexo D mostra as concentrações dos cinco elementos analisados, por classe de material combustível e tratamento. As maiores concentrações de N e P, em média, estão na subclasse C-1MV, formada por material verde, seguida pelas classes C-1MD, C-1MF e C-2. Para os outros três elementos (K, Ca e Mg), as maiores concentrações estão, por ordem, nas subclasses C-1MV, C-1MF, C-1MD e C-2.

As concentrações médias encontradas por POGGIANI *et al.* (1987) foram da ordem de 0,91, 0,04, 0,35, 1,48 e 0,14% para N, P, K, Ca e Mg respectivamente, para folheto de *Eucalyptus viminalis*, avaliado dos quatro aos sete anos de idade. O material analisado por aquele autor assemelha-se ao material da classe C-1MF do presente estudo. Aquele autor observou, ainda, que o *E. viminalis*, apesar de depositar menor quantidade de folheto que a bracinga e o pinus, contribui mais acentuadamente com o elemento Ca. Os resultados encontrados no presente estudo mostram coerência, uma vez que a subclasse C-1MF, formada em sua maioria por folhas e ramos finos de eucalipto, foi a que apresentou maior concentração de cálcio. Em outro trabalho, POGGIANI (1985) encontrou as concentrações referentes à média anual da coleta de folheto de *Eucalyptus saligna*, durante três anos, de 0,61, 0,05, 0,37, 0,98 e 0,20 % para N, P, K, Ca e Mg.

Mesmo que a subclasse (C-1MV) tenha sido completamente consumida pelo fogo, a perda de nutrientes, que porventura tenha ocorrido, não foi grande, uma vez que ela contribui com apenas 10 % da composição total de material combustível em cada época de queima.

A subclasse C-1MD, com a maior concentração de N e P, depois da subclasse C-1MV e com concentração aproximadamente igual à subclasse C-1MF, à exceção do Ca, sofreu redução de, apenas 10 %, considerando que todo o material das subclasses C-1MV e C-SP foi consumido. Portanto, pode-se dizer que dentre as subclasses de material combustível a que mais contribuiu para a perda de nutrientes foi a C-1MF, considerando

⁷BRAY, R.J.; GORHAM, E. Litter production in forest of the world. *Advances in Ecological Research*, London, 2:101-57, 1964.

que ela foi totalmente consumida pelo fogo e que representava cerca de 35 % da composição total de material combustível em cada época de queima.

Entretanto, com exceção do Ca, que estava em maior concentração na subclasse C-1MF, a concentração dos outros nutrientes analisados foi menor que nas subclasses C-1MV e C-1MD, as quais juntas somavam cerca de 60 % do total de material combustível.

O K apresentou uma variação muito grande entre a condição antes e depois da queima, cujos resultados apresentaram diferença estatística significativa. A concentração após a queima variou de 150 % a menos na queima em faixas a favor do vento de primavera e de 118 % a menos na queima em faixas a favor do vento de outono.

O Ca teve um comportamento inverso, com aumento das concentrações após a queima, apresentando diferença estatística significativa para os tratamentos, com exceção da queima contra o vento de outono. Os aumentos das concentrações foram de 42, 43 e 30 % para a queima em faixas a favor e contra o vento de primavera e queima em faixas a favor de outono, respectivamente.

As diferenças detectadas para os outros elementos, embora significativas, não foram grandes em termos percentuais, com exceção da redução de cerca de 40 % para o P na queima contra o vento de outono.

4.4 COMPORTAMENTO DO FOGO

4.4.1 Poder calorífico

O poder calorífico do material combustível é um elemento importante no estudo do comportamento do fogo, uma vez que ele é um indicador da quantidade de energia liberada durante a combustão.

Dentre os fatores que interferem na quantidade de energia liberada pela combustão estão a umidade e a composição química da madeira, sendo este último diretamente relacionado com o poder calorífico do material combustível (SOARES & HAKKILA, 1984). Tendo em vista que o material combustível analisado neste estudo foi separado em classes, procedeu-se à determinação do poder calorífico para avaliar a contribuição, em termos de energia liberada, de cada classe em cada época de queima. Os componentes

dessas classes apresentam diferenças substanciais, por serem constituídos de material verde (vivo) ou seco (morto). O material seco subdividia-se, ainda, em material recente e em processo de decomposição.

VINEY & HATTON (1989) encontraram diversos problemas relativos à estimativa de umidade de material combustível por meio de modelos matemáticos e concluíram que a diferença no conteúdo de umidade, entre três classes de material combustível, pode conduzir a erros graves, utilizando a média do conteúdo de umidade como se todo o combustível fosse uma camada homogênea.

As médias do poder calorífico por bloco e classe de material combustível estão apresentadas na Tabela 17.

TABELA 17 - MÉDIAS DO PODER CALORÍFICO EFETIVO E REAL (kcal.kg⁻¹) POR BLOCO E POR CLASSE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Identificação do Bloco	Poder calorífico	C l a s s e s			
		C-1MF	C-1MV	C-1MD	C-2
A	efetivo	4734 *c	4552 *b	3910 *a	4559 *b
	real ¹	3345 *c	1604 *a	2090 *b	3161 *c
B	efetivo	4631 *b	4416 *b	3966 *a	4321 *b
	real	2863 *c	1708 *a	2104 *b	3215 *d
C	efetivo	4576 *c	4399 *b	4084 *a	4163 *a
	real	3070 *b	1740 *a	2118 *a	2735 *b
D	efetivo	4602 *b	4417 *b	3951 *a	4390 *b
	real	3242 *c	1882 *a	2211 *b	3392 *c
Médias	efetivo	4636 *c	4446 *b	3978 *a	4358 *b
	real	3130 *c	1733 *a	2131 *b	3126 *c

Médias, na linha, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10%.

Pares de médias, para determinado bloco e classe, seguidas de "*" diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10% (compara poder calorífico efetivo e real).

¹ Poder calorífico, considerando a umidade do material combustível no dia da queima.

Os maiores valores de poder calorífico efetivo foram encontrados para a classe C-1MF, tendo sido diferentes das demais classes pelo teste de SNK, nos blocos A e C. Para os blocos B e D, as médias da classe C-1MF diferiram apenas da classe C-1MD. A classe C-1MF, composta por material recente, principalmente folhas e galhos finos, contem óleos

e resinas, substâncias que possuem maior valor de poder calorífico. De acordo com HOWARD (1979), a madeira apresenta poder calorífico diferente dos resíduos florestais, principalmente em razão das diferenças nas proporções de resina, lignina e celulose. Para coníferas, por exemplo, enquanto o poder calorífico da madeira varia de 19,2 a 21,0 MJ.kg⁻¹ (4.587 a 5.017 kcal.kg⁻¹), o da resina é de cerca de 39,3 MJ.kg⁻¹ (9.389 kcal.kg⁻¹).

As menores médias de poder calorífico efetivo encontradas foram as da classe C-1MD, as quais diferiram estatisticamente das demais, em todos os blocos, com exceção da classe C-2, do bloco C. A classe C-1MD, por ser composta, em sua maioria, por material orgânico em decomposição, possivelmente sofreu alteração química, em virtude da ação de fungos e bactérias, não possuindo mais substâncias de alto valor calórico.

A comparação entre as classes, considerando a média de todos os blocos, resultou em diferença estatística significativa entre as classes C-1MF e C-1MD do poder calorífico efetivo, as quais apresentam o maior e o menor valor, respectivamente, e entre estas e as demais. As médias C-2 e C-1MV, cujos valores são intermediários, não diferiram entre si.

Ao se comparar as médias do poder calorífico real, que é a quantidade de energia produzida pelo material combustível, levando em consideração o seu teor de umidade, os resultados apresentaram diferenças significativas daqueles encontrados para o poder calorífico efetivo. A determinação do poder calorífico real foi feita de acordo com a equação proposta por COUNTRYMAN (1977) e se baseou na eliminação do efeito da umidade na produção de calor, uma vez que, segundo BRITO (1986), parte da energia produzida na combustão do material combustível úmido é desviada para evaporar a água nele contida. Por essa razão, a presença de água representa poder calorífico negativo.

Os teores de umidade observados apresentaram valores coerentes com o esperado para as classes de material combustível. Esses valores foram de aproximadamente 115, 69, 40 e 34 % para as classes C-1MV, C-1MD, C-1MF e C-2 respectivamente, ou seja, o maior teor de umidade foi observado na classe C-1MV, referente ao material verde e o menor teor na classe C-2, composta por material lenhoso. A umidade, ao lado da composição química do material combustível, refletiu diretamente na energia. A classe C-1MV (material verde) que possuía o segundo maior valor de poder calorífico (efetivo), após descontado o efeito da umidade, passou a ter o menor valor de poder calorífico (real).

A comparação entre as médias de cada classe, para cada bloco, comprovou o efeito da umidade sobre a quantidade de energia liberada, uma vez que todas as médias de poder calorífico efetivo e real diferiram estatisticamente entre si.

Outra evidência que se verifica na Tabela 17 é a diferença entre os valores de poder calorífico real das classes C-1MV e C-1MD, com exceção do bloco C; a diferença entre estas classes e as demais; e a semelhança entre os valores das classes C-1MF e C-2, com exceção do bloco B. Esta constatação está claramente definida na média geral apresentada no final da tabela, mostrando coerência e reforçando o efeito da umidade do material combustível na quantidade de energia liberada durante a combustão, uma vez que as duas classes de mais baixo valor de poder calorífico real (C-1MV e C-1MD) são as que apresentam maior teor de umidade.

O que se pode observar através da comparação feita entre o poder calorífico efetivo e o poder calorífico real é que a quantidade de energia liberada durante a queima é dependente do teor de umidade do material combustível. A classe C-1MF apresentou maior poder calorífico efetivo em todos os blocos, embora estatisticamente tenha diferido das demais apenas nos blocos A e C. Quando calculado o poder calorífico real, esta classe manteve valor superior ao das demais apenas nos blocos A e C, com exceção da classe C-2, para a qual as médias foram estatisticamente iguais. A classe C-2, que apresentou menor percentual de umidade, passou a ter um poder calorífico real estatisticamente superior ao das demais classes no bloco B e permaneceu estatisticamente igual no bloco D.

Segundo HAKKILA (1984)⁸, citado por SOARES & HAKKILA (1984), o teor de umidade mais eficiente em termos de combustão, para certos tipos de fornalha, varia entre 43 e 54 % (em relação ao peso de matéria seca). Se a madeira estiver mais seca a combustão pode ser explosiva, o que resulta em maior perda de energia para a atmosfera e aumento da emissão de partículas de carbono; se a umidade estiver entre 100 e 150 % a eficiência da combustão diminui drasticamente e, se ela exceder 150 até 230 % o poder calorífico da madeira não consegue manter o processo de combustão.

A comparação entre as médias do poder calorífico real, individualmente por classe e a média para as quatro classes, está apresentada na Tabela 18. Observa-se que as classes com menor poder calorífico efetivo (C-1MD) e maior teor de umidade (C-1MV) possuem maior poder calorífico real, com valor máximo para as classes C-1MF e C-2.

⁸ HAKKILA, P. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. *Folia Forestalia*, n. 56, p. 1-62, 1984.

TABELA 18 - MÉDIAS DO PODER CALORÍFICO REAL (kcal.kg⁻¹) POR CLASSE E PARA TODAS AS CLASSES E POR TRATAMENTO

Trata- mento	C l a s s e s				
	A ¹	C-1MF	C-1MV	C-1MD	C-2
Fp	2581 a	3021 a	1719 a	2277 a	3308 a
Cp	2559 a	3262 a	1725 a	2063 a	3184 a
Fp	2544 a	3136 a	1828 a	2241 a	2969 a
Co	2437 a	3116 a	1661 a	1943 a	3042 a

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ A=C-1MF+C-2+C-1MV+C-1MD;

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10%.

Não foi detectada diferença estatística significativa entre as médias de poder calorífico real do material combustível componente das parcelas de todos os tratamentos pelo teste de SNK, empregando classe ou combinação de classes de material combustível. Se, de acordo com SOARES & HAKKILA (1984), o poder calorífico da madeira não varia de maneira significativa entre as espécies, a variação dentro de uma mesma classe de material combustível deverá ser menor ainda, conforme verificado no teste de comparação de médias, da Tabela 18.

O valor do poder calorífico real corresponde à média das diversas parcelas que compõe cada tratamento, as quais estão separadas espacialmente dentro da área de estudo. Embora exista essa distribuição espacial, a variação do conteúdo de umidade, que certamente ocorre em condições de campo, não influenciou de maneira significativa a determinação do poder calorífico real, apesar da influência da umidade, conforme mencionado por SOARES & HAKKILA (1984) e BRITO (1986). Dessa forma, a variável poder calorífico atuou de maneira uniforme sobre todos os tratamentos.

4.4.2 Intensidade da linha de fogo

A Figura 10 mostra um exemplo de uma queima em faixas a favor do vento e de uma queima contra o vento.

FIGURA 10 - ASPECTOS DE UMA QUEIMA EM FAIXAS A FAVOR DO VENTO (A)
E DE UMA QUEIMA CONTRA O VENTO (B)



(A)

A intensidade da linha de fogo foi calculada pela equação de BYRAM (1959) e envolve a quantidade de material combustível disponível (kg.m^{-2}), o poder calorífico real (kcal.kg^{-1}) e a velocidade de propagação do fogo (m.s^{-1}).

A comparação entre as médias da quantidade de material combustível disponível, apresentada na Tabela 11, e o resultado da análise de covariância (Tabela 12) apontaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, apenas para a classe C-1 da queima de primavera, diferença esta também refletida na quantidade total. Nesta época de queima, a técnica em faixas a favor do vento consumiu um total médio, de cerca de $368,5 \text{ g.m}^{-2}$ a mais que a contra o vento.

O poder calorífico (efetivo e real) apresentou diferenças estatísticas significativas entre as classes (Tabela 17), dentro de um mesmo bloco. Porém, a contribuição de cada classe na intensidade da linha de fogo é difícil de ser mensurada, dada a complexidade do processo de queima em condições de campo. A comparação entre as médias dos tratamentos, para cada classe individualmente e para a média de todas as classes (Tabela 18), não resultou em diferença estatística significativa, sugerindo que o poder calorífico real atuou como um parâmetro constante na equação de determinação da intensidade da linha de fogo, em todos os tratamentos.

A terceira variável empregada na determinação da intensidade da linha de fogo é a velocidade de propagação, medida durante a queima das parcelas (Tabela 19).

TABELA 19 - MÉDIAS DO TEMPO (min.) E VELOCIDADE DE QUEIMA (m.s^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS DE PRIMAVERA E OUTONO

Tratamento	Tempo (min.)	Velocidade (m.s^{-1})
Fp	22,8	0,0468 b
Cp	86,5	0,0131 a
Fo	27,3	0,0486 b
Co	77,8	0,0131 a

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono. Médias, na coluna, seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10%.

A velocidade da queima em faixas a favor do vento foi superior à velocidade da queima contra o vento, em média 3,6 e 3,7 vezes maior, nas queimas de primavera e outono, respectivamente. Essa diferença foi estatisticamente significativa ao se comparar as

médias de velocidade das duas épocas de queima em conjunto. Nas queimas controladas realizadas por BATISTA (1995), em povoamentos de pinus, a queima a favor do vento foi, em média, cerca de 1,9 vez superior à queima contra o vento ($0,0046$ a $0,0090 \text{ m.s}^{-1}$). SOARES (1979b), em um estudo empregando queima controlada contra o vento em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, observou velocidade de propagação do fogo variando de $0,008 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,033 \text{ m.s}^{-1}$.

Uma análise de correlação simples foi realizada entre a velocidade de propagação do fogo e diversas variáveis que, potencialmente, poderiam influenciar o desenvolvimento das chamas. A Tabela 20 apresenta os coeficientes de correlação por tratamento e época de queima.

TABELA 20 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Tratamento	Variáveis do comportamento do fogo							
	A	B	C1	D	E	F1	G	H
Fp	0.59	0.05	0.13	-0.20	0.68	-0.32	0.32	0.18
Cp	-0.86	-0.25	-0.41	0.39	-0.86	-0.07	-0.11	0.33
Fo	-0.75	-0.65	0.04	0.11	0.03	-0.51	0.40	-0.50
Co	0.78	0.52	0.16	0.87	0.73	0.46	-0.52	0.04
Geral	-0.44*	0.02	0.65*	0.22	-0.13	-0.03	-0.01	0.55*

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

A = espessura da camada em decomposição; B = espessura da camada de serapilheira e material verde; C1 = carga de material combustível; D = umidade da classe de material combustível C-1MF; E = umidade da classe de material combustível C-1MV; F1 = umidade relativa do ar; G = temperatura do ar; H = declividade média das parcelas.

* Significativo a 10%.

Nenhum coeficiente de correlação, entre as oito variáveis analisadas e a velocidade de propagação do fogo, foi significativo quando avaliadas as técnicas de queima independentemente. Na análise conjunta, o coeficiente de correlação foi significativo para as variáveis espessura da camada em decomposição, carga de material combustível e declividade média das parcelas.

A correlação negativa, com a espessura da camada em decomposição, indica que as maiores velocidades ocorreram quando a camada era menos espessa. A tendência é de variáveis ligadas ao fator umidade correlacionarem-se negativamente com a velocidade de

propagação, a exemplo da classe C-1MV (classe que possui maior percentual de umidade) e umidade relativa do ar. A umidade interfere na combustão, atuando como agente de resfriamento das chamas, devido à evaporação durante a combustão. O guia de queima controlada de McArthur, citado por GOULD (1994) por exemplo, que foi empiricamente derivado de queimas experimentais, não considera os componentes vivos ou verde de material combustível e, de acordo com o autor, o conteúdo de umidade desse material provavelmente interfere no comportamento do fogo.

A carga de material combustível correlacionou-se positivamente com a velocidade de propagação do fogo, ou seja, maiores velocidades ocorreram quando a quantidade de combustível era maior. O mesmo aconteceu com a declividade das parcelas, em que maiores velocidades de propagação ocorreram em locais mais inclinados.

Na Tabela 21 estão apresentados os valores de intensidade da linha de fogo e o resultado da comparação entre as médias.

TABELA 21 - MÉDIAS DA INTENSIDADE DA LINHA DE FOGO ($\text{kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$) POR TRATAMENTO

Tratamento	I
Fp	211,13 *b
Cp	50,55 *a
Fo	229,50 *b
Co	48,93 *a

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10%.

Pares de médias em cada época de queima, seguidas de “*”, diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10%.

A comparação das médias das duas épocas de queima, feita em conjunto, resultou em diferença estatisticamente significativa entre a queima em faixas a favor do vento e a queima contra o vento. Para verificar se as médias dentro de uma mesma época de queima eram diferentes, comparando-se as duas técnicas de queima, utilizou-se o teste de T, resultando, também, em diferença estatística.

A intensidade da linha de fogo, que é a quantidade de energia liberada por unidade de comprimento da linha de fogo e por unidade de tempo, é uma forma de caracterização da técnica de queima. Como pode ser observado pela Tabela 21, as médias da técnica de

queima em faixas a favor do vento são aproximadamente 4,4 vezes superiores às da queima contra o vento, ou seja, a queima em faixas a favor libera 4,4 vezes mais energia calorífica proveniente da combustão, por segundo, por metro linear, que a queima contra o vento. Nos estudos realizados por BATISTA (1995) a relação da intensidade da linha de fogo entre as duas técnicas de queima, com base na média geral, foi de aproximadamente 2,2 vezes superior na queima a favor do vento. SOARES (1979b), utilizando somente a técnica de queima contra o vento em povoamentos de pinus, registrou uma intensidade média de $128,5 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ em *Pinus oocarpa* e $121,0 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ em *P.caribaea* var. *hondurensis*. Apesar de haver superado a intensidade desejada ($80 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$), aquele autor observou, quatro meses após a queima, que os danos causados às árvores foram nulos. BOYER (1990), utilizando queima a favor do vento em povoamentos adultos de pinus, em 2 anos consecutivos, encontrou intensidades de queima variando de 90,9 a $141,4 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$, em um ano, e de 23,9 a $109,1 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$, em outro ano. Nestes 2 casos a área havia sofrido queima controlada 2 anos antes.

Em observações de campo, TOZZINI & SOARES (1987) estabeleceram quatro níveis de queima em incêndio num povoamento de *Pinus taeda* e fizeram estimativa de vários parâmetros do comportamento do fogo. Para o primeiro nível, correspondente à queima superficial sem crestamento de copa, estimou-se uma intensidade de fogo, empregando a equação de Byram, modificada por ROTHERMEL & DEEMING (1980), de $44,3 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$. No outro extremo, em que houve consumo total das copas pelas chamas, a intensidade estimada foi de $12.345,6 \text{ kcal.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

Conforme discutido, o poder calorífico parece atuar de maneira homogênea no cálculo da intensidade da linha de fogo, em todas as parcelas das duas épocas de queima, uma vez que, estatisticamente, as médias não diferiram entre si.

A quantidade de material combustível teve comportamento um pouco adverso. Na queima em faixas a favor do vento de primavera, a quantidade de material consumida foi estatisticamente diferente da queima contra o vento. Entretanto, na queima de outono, as médias entre as duas técnicas de queima não diferiram estatisticamente entre si.

A terceira variável utilizada no cálculo da intensidade da linha de fogo foi a velocidade de propagação. Esta variável pareceu ter sido a que mais influenciou no cálculo da intensidade da linha de fogo ou, pelo menos, a que contribuiu em maior peso. A Tabela 19 mostrou as diferenças entre a velocidade de propagação das duas épocas de queima

(queima em faixas a favor superior em 3,6 e 3,7 vezes a queima contra o vento para a queima de primavera e outono, respectivamente).

A velocidade de propagação do fogo é na prática a única variável, dentre as três empregadas no cálculo da intensidade da linha de fogo, que pode ser manejada, seja por meio da técnica de queima, pela observação da umidade do material combustível ou seja pelo tempo de acendimento da linha de fogo quando se utiliza a queima em faixas. Considerando também que, mediante os resultados encontrados, ela contribuiu de maneira significativa para a quantidade de energia liberada durante a queima, a velocidade de propagação deve merecer atenção especial nos programas de queima controlada.

Uma análise de correlação simples foi realizada entre intensidade de queima e diversas variáveis relacionadas com o comportamento do fogo. Os respectivos coeficientes estão apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DA LINHA DE FOGO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Tratamento	Variáveis do comportamento do fogo							
	A	B	C1	D	E	F1	G	H
Fp	0,93*	0,43	-0,05	-0,71	0,33	-0,88	0,88	0,73
Cp	-0,85	-0,31	-0,38	0,30	-0,87	-0,00	-0,18	0,99*
Fo	-0,66	-0,94*	0,22	-0,32	-0,38	-0,36	0,27	0,87
Co	-0,09	-0,13	0,66	-0,14	-0,14	0,26	-0,01	0,12
Geral	0,24	-0,07	0,67*	0,10	-0,28	-0,08	0,06	0,97*

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

A = espessura da camada em decomposição; B = espessura da camada de serapilheira e material verde; C1 = carga de material combustível; D = umidade da classe de material combustível C-1MF; E = umidade da classe de material combustível C-1MV; F1 = umidade relativa do ar; G = temperatura do ar; H = velocidade de propagação do fogo.

* Significativo a 10%.

Os coeficientes que apresentaram correlação significativa com a intensidade da linha de fogo foram a espessura da camada em decomposição, para a queima em faixas a favor do vento de primavera, a espessura da camada de serapilheira e material verde da queima em faixas a favor do vento de outono e a velocidade de propagação do fogo da queima contra

o vento de primavera, considerando as técnicas de queima individualmente. A correlação negativa com a espessura da camada em decomposição mostra que maiores valores de intensidade da linha de fogo ocorreram quando a camada era menos espessa. Entretanto, na análise geral, a situação inverteu-se, tornando positiva com coeficiente não-significativo. O mesmo ocorreu com a espessura da camada de serapilheira e material verde, o que está coerente com a situação de campo. A espessura desta camada é representada principalmente pelo material verde (vivo) e menos pela quantidade de serapilheira existente na parcela. Portanto, quanto mais alta for a vegetação, maior será a tendência de menor intensidade de queima.

A carga de material combustível, na análise geral, também apresentou correlação positiva significativa com a intensidade de queima, ou seja, maior intensidade ocorreu quando a quantidade de material combustível era maior. Na análise para as técnicas de queima individualmente, os coeficientes não apresentaram consistência, ora correlacionando positivamente, ora negativamente.

A intensidade da linha de fogo apresentou associação positiva com a velocidade de propagação e observa-se forte correlação entre as duas variáveis, embora apenas a queima contra o vento de primavera apresentou coeficiente significativo. Verifica-se, por outro lado, falta de consistência, uma vez que a queima contra o vento de outono apresentou baixo coeficiente de correlação. A correlação foi significativa na análise conjunta das duas épocas de queima.

4.4.3 Energia liberada por unidade de área

A liberação de calor, de acordo com ROTHERMEL & DEEMING (1980), é calculada pela relação entre a intensidade da linha de fogo e a velocidade de propagação, resultando na quantidade de energia liberada por unidade de área. Se a velocidade de propagação é muito alta, as chamas passam rapidamente por um determinado ponto e a energia absorvida é inferior se comparada à absorvida quando a velocidade de propagação é baixa, devido ao baixo tempo de exposição a que aquele ponto foi submetido. A equação de cálculo da quantidade de energia liberada é clara nesse ponto, uma vez que tem em seu

denominador a velocidade de propagação, ou seja, quanto maior o valor da velocidade, menor será o resultado da divisão, resultando em menor quantidade de energia liberada.

Entretanto, essa condição somente é verdadeira se apenas a velocidade de propagação do fogo variar e os outros parâmetros (combustível consumido e poder calorífico) permanecerem constantes. Em condições de campo esse controle é praticamente impossível e até mesmo a velocidade de propagação entre as técnicas de queima pode não ser suficiente para causar diferenças na quantidade de energia liberada por unidade de área.

A Tabela 23 apresenta as médias dos valores da quantidade de calor liberada por tratamento, para as três combinações de classe de material combustível.

TABELA 23 - MÉDIAS DE ENERGIA LIBERADA (kcal.m^{-2}), POR TRATAMENTO

Tratamento	Ha
Fp	4566,34 a
Cp	3806,55 a
Fo	4709,39 a
Co	3783,28 a

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10%.

Pares de médias dentro de cada época de queima, seguidas de “*”, diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10%.

Observa-se que a comparação conjunta das médias dos tratamentos, das duas épocas de queima, não acusou nenhuma diferença significativa entre os valores de quantidade de energia liberada por unidade de área. Enquanto para a intensidade da linha de fogo a velocidade de propagação tem uma relação direta, ou seja, quanto maior a velocidade, maior a intensidade, no cálculo da quantidade da liberação de calor essa relação é inversa, quanto maior a velocidade de propagação do fogo, menor é a quantidade de energia retida por unidade de área. Se a velocidade de propagação é alta, maior será o movimento convectivo e, conseqüentemente, a dispersão de energia. O tempo que a massa de calor fica sobre um determinado ponto é menor quando comparado com a queima que ocorre em baixa velocidade de propagação.

Embora a comparação das médias da intensidade da linha de fogo entre as técnicas de queima tenha resultado em diferença estatisticamente significativa, a comparação para a quantidade de energia liberada por unidade de área não seguiu a mesma tendência. Assim,

pressupõe-se que tanto para uma técnica de queima quanto para outra, os efeitos causados ao meio sejam semelhantes.

Ao se comparar as médias das duas técnicas de queima, considerando isoladamente cada época, a tendência de igualdade entre as técnicas manteve-se a mesma. As médias da queima em faixas a favor do vento não diferiram estatisticamente das realizadas contra o vento, para as duas épocas de queima.

O que proporcionou maiores valores de energia liberada para a técnica em faixas a favor do vento foi a quantidade de material combustível consumido. A velocidade de propagação do fogo, para as duas épocas de queima, foi, em média, 3,6 vezes maior para a queima em faixas a favor do vento. As médias de poder calorífico real parecem não ter exercido influência, uma vez que apresentaram valores bem próximos entre todas as parcelas do experimento. Uma evidência do maior peso da quantidade de material combustível consumido está na comparação dos valores de energia liberada dentro de cada época de queima. Na queima em faixas a favor do vento de primavera, a quantidade de material combustível disponível foi superior e estatisticamente diferente da quantidade consumida da queima contra o vento (Tabela 11). Para a queima de outono isso não ocorreu e como a velocidade de propagação foi praticamente igual para a mesma técnica de queima, nas duas épocas, o que parece ter exercido influência foi a quantidade de material combustível consumido.

BATISTA (1995), trabalhando com queima controlada em plantações de pinus, encontrou valores de liberação de calor bem inferiores (530,13 a 2.904,10 kcal.m⁻²) em queimas conduzidas em diferentes anos, comparados com os encontrados no presente estudo. O tipo de queima parece não ter tido influência sobre o valor de energia liberada, uma vez que em quatro anos de estudo apenas um apresentou diferença significativa entre a queima a favor e contra o vento. Quando os dados foram analisados por frequência (anual, bienal e trienal), a diferença permaneceu não-significativa, inclusive para o tipo de queima.

4.4.4 Altura de crestamento

Acima da zona de combustão, durante a ocorrência de um fogo, forma-se uma coluna de ar aquecido, contendo gases e energia liberada pela queima. Se o fogo está

ocorrendo dentro de um povoamento florestal, o aquecimento pode atingir a copa das árvores e exceder a temperatura-limite que as folhas podem suportar. Dessa maneira, a variável “altura de crestamento” é um indicador da severidade da queima e, por isso, é um elemento útil no planejamento dos programas de queima controlada, limitando a intensidade de queima dentro de parâmetros preestabelecidos como, por exemplo, definir uma altura máxima de crestamento permitida.

Segundo VAN WAGNER (1973), para povoamentos de pinus é consenso que a principal causa da mortalidade das árvores, após a ocorrência do fogo, é o crestamento das copas, ao contrário dos danos causados ao tronco, próximo do solo. Para que a morte da árvore seja causada apenas por injúria no tronco, toda a sua circunferência deveria ser danificada, e antes que isto aconteça, toda a copa já estaria crestada, pois as folhas são muito mais sensíveis. A morte da árvore pode ocorrer rapidamente após crestamento total da copa, mas pode levar vários anos se apenas injúrias forem causadas ao tronco.

A Tabela 24 apresenta os valores médios da altura de crestamento, determinada com base em 3 equações apresentadas por VAN WAGNER (1973), e o teste de comparação entre tratamentos e os métodos de cálculo.

Não se observou crestamento do dossel superior das parcelas com exceção de pontos localizados, com densa regeneração natural de pinus, onde ocorria taquaral, que produzia o efeito “escada”, ou em árvores de porte mais baixo. Em algumas parcelas a altura das árvores variava de aproximadamente 5,0 a 28,0 m (Anexo B).

Para a queima em faixas a favor do vento a equação 1 superestimou a altura de crestamento em cerca de 1 metro em relação à equação 2 e de cerca de 3 metros em relação à equação 3; a equação 2 superestimou a altura de crestamento em, aproximadamente, 2 metros em relação à equação 3. Esta relação para a queima contra o vento foi de 35 cm, 2,3 m e 1,9 m respectivamente.

Os valores encontrados estão bem abaixo da altura total das árvores que é, em média, de 20,0 m, apesar da grande heterogeneidade do povoamento. Entretanto, apesar do embasamento teórico, tais equações devem ser ajustadas para cada caso, para obtenção de resultados mais satisfatórios.

Os dados do presente estudo foram aplicados na equação ajustada por GOULD (1994), o qual trabalhou com diversas variáveis e vários modelos de comportamento do fogo, para queima controlada em plantações de eucalipto. Em média, os resultados foram

superiores aos encontrados nesta pesquisa (Tabela 24), sendo de cerca de 15,0 m para a queima em faixas a favor do vento e de 6,0 m para a queima contra o vento. Entretanto, as estimativas citadas, utilizando os dados do presente trabalho em modelos desenvolvidos por outros autores, são exclusivamente para efeito comparativo. O autor chama a atenção para o fato de que, os modelos ajustados com base em queimas experimentais são bons estimadores para as condições ambientais e de material combustível, semelhantes àquelas para as quais foram desenvolvidos e sugere que, para outras condições, novos modelos empíricos de comportamento do fogo deveriam ser desenvolvidos ao invés do simples ajuste de coeficientes.

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS DA ALTURA DE CRESTAMENTO (m) CALCULADA COM BASE NAS EQUAÇÕES APRESENTADAS POR VAN WAGNER (1973)

Tratamento	Equação ¹		
	1	2	3
Fp	13,6 Ab	12,3 Ab	11,4 Ab
Cp	5,2 Aa	4,8 Aa	3,5 Aa
Fo	14,2 Ab	13,4 Ab	10,5 Ab
Co	5,1 Ba	4,8 Ba	2,3 Aa
Média geral			
Favor	13,9A*	12,8A*	10,9A*
Contra	5,1B*	4,8B*	2,9A*

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ Equação 1: $h_s = 0.385 \cdot I^{2/3}$ - Equação 2: $h_s = 11.61 \cdot I^{2/3} / (60 - T)$

Equação 3: $h_s = (3.94 \cdot I^{7/6}) / ((0.107 \cdot I + U^3)^{1/2} \cdot (60 - T))$

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10% (compara técnicas de queima).

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10% (compara equações).

Pares de médias (geral), para cada equação, seguidas de "*" diferem estatisticamente pelo teste de T, a 10% (compara técnica em faixas a favor e contra o vento).

A técnica de queima tem efeito direto na altura de crestamento. Com base na média geral, a queima em faixas a favor do vento foi de, aproximadamente, 2,7 vezes superior, para as equações 1 e 2, e de 3,8 vezes superior para a equação 3. As duas técnicas de queima apresentaram diferença estatística para todas as estimativas.

Observa-se que, com a inclusão de variáveis nas equações apresentadas (equações 1 e 2), houve tendência de diminuição da altura de crestamento estimada, embora os coeficientes comuns das equações não fossem os mesmos. As diferenças entre as alturas de crestamento estimadas somente foram significativas para a equação 3, da queima contra o vento de outono. O mesmo ocorreu para a análise das duas épocas de queima em conjunto. Isto reforça a afirmação de GOULD (1994), da necessidade de adaptação de modelos para casos específicos.

De acordo com VAN WAGNER (1973), a altura de crestamento tem relação direta com a intensidade do fogo. Assim, queima menos intensa resulta em altura de crestamento menor. BATISTA (1995), encontrou diferença significativa entre as alturas de crestamento das queimas a favor e contra o vento, apenas para um ano ao estudar uso do fogo em povoamento de pinus durante 4 anos. A intensidade da linha de fogo média foi de cerca de 18,21 e 8,14 kcal.s⁻¹.m⁻¹ para as queimas a favor e contra o vento, respectivamente e gerou alturas de crestamento entre 1,04 a 2,80 m. Estes valores foram, entretanto, bem inferiores aos do presente trabalho (intensidade de 220,32 e 49,74 kcal.s⁻¹.m⁻¹ e altura de crestamento - equação 1 - de 13,9 e 5,1 m para as queimas em faixas a favor e contra o vento.

SOARES (1979b), também utilizando queima controlada em povoamentos de pinus, determinou altura de crestamento de cerca de 7,8 e 8,0 m para *Pinus caribaea* e *P. oocarpa*, respectivamente. Esses valores, considerados altos para as condições da queima, causaram excessiva queda de acículas após o fogo, chegando a 4,0 t.ha⁻¹ no *P. oocarpa* e a 5,0 t.ha⁻¹ no *P. caribaea* var. *hondurensis*.

No levantamento de campo realizado por TOZZINI & SOARES (1987), em um incêndio florestal ocorrido em povoamento de *Pinus taeda*, foi estimada uma altura de crestamento, baseando na equação proposta por VAN WAGNER (1973), de 1,4 m para o primeiro nível, correspondente a uma queima superficial sem crestamento letal, e de 167,0 m, para as áreas em que ocorreu um consumo total das copas.

4.4.5 Altura de carbonização

A Figura 11 mostra exemplos da altura de carbonização e a situação das parcelas após a realização da queima.

FIGURA 11 - DETALHES DA ALTURA DE CARBONIZAÇÃO E DA MANTA ORGÂNICA APÓS A QUEIMA



JOHNSON (1982) definiu em seu trabalho que a chama resultante da combustão é um fenômeno transitório, pulsante e casual. Dessa maneira, as suas medidas, como altura e comprimento, são respostas de um determinado momento e podem não ser representativas da média de ocorrência de todo o período e espaço em que ocorreu a queima. Segundo o autor, os números apresentam comportamento homogêneo, sendo que o mesmo não ocorre para fenômeno da combustão. Por essa razão, outras variáveis têm sido utilizadas para caracterizar o comportamento do fogo e, dentre elas, a altura de carbonização tem merecido atenção pelo fato de ser um efeito direto da ação das chamas e de fácil medição.

TOZZINI & SOARES (1987), por exemplo, chegaram a estimativas razoáveis da intensidade do fogo utilizando a altura de carbonização, com base em observações de campo, e a equação de Byram, modificada por ROTHERMEL & DEEMING (1980).

Na Tabela 25 estão as médias da altura de carbonização para os tratamentos e os resultados do teste de comparação de médias entre técnicas de queima dentro de uma mesma época e para todo o período de estudo.

TABELA 25 - ALTURA DE CARBONIZAÇÃO (cm) NAS ÁRVORES DAS PARCELAS DAS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO

Tratamento	Altura carbonização
Fp	75,0 a
Cp	62,0 a
Fp	72,9 a
Co	63,9 a

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Os tratamentos não tiveram efeito sobre a altura de carbonização. Portanto, as médias das alturas foram estatisticamente iguais tanto para uma época de queima quanto para as duas épocas analisadas conjuntamente. BATISTA (1993) encontrou uma variação significativa em função da técnica de queima, em povoamentos de pinus, na estimativa da intensidade de fogo através da altura de carbonização, ou seja, parece que a técnica de queima influenciou significativamente o cálculo da intensidade de queima.

Muitos parâmetros têm sido utilizados para caracterizar o comportamento do fogo. Estes parâmetros por sua vez, deduzidos mediante modelos teóricos e empíricos, empregam diversas variáveis associadas ao processo da combustão, ao clima, às

características do material combustível, à topografia e outras. Não basta que variáveis ou conjunto de variáveis tenham uma boa correlação com o comportamento ou efeito do fogo. É necessário que elas sejam facilmente obtidas e, preferencialmente, que sejam uma resposta direta da ação do fogo. A altura de carbonização atende a estes requisitos, e para analisar o grau de associação com outras variáveis, foram determinados os coeficientes de correlação simples, cujos resultados estão apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ALTURA DE CARBONIZAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Tratamento	Variáveis do comportamento do fogo						
	A	B	C1	D	E	F1	G
Fp	-0,12	-0,24	-0,32	0,50	-0,80	-0,03	-0,30
Cp	0,60	0,58	0,63	-0,84	0,26	0,59	0,66
Fp	-0,34	-0,36	-0,36	0,09	0,47	-0,76	-0,38
Co	-0,01	0,15	0,27	-0,98*	0,58	-0,66	0,15
Geral	0,56*	0,52*	0,50*	0,11	0,45*	0,48*	0,50*

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

A = altura de crestamento $h_s = 0,385 \cdot I^{2/3}$; B = altura de crestamento $h_s = 11,61 \cdot I^{2/3} / (60 - T)$;

C1 = altura de crestamento $h_s = (3,94 \cdot I^{7/6}) / ((0,107 \cdot I + U^3)^{1/2} \cdot (60 - T))$;

D = espessura da serapilheira mais material verde; E = carga de material combustível C-1MF; F1 = velocidade de propagação do fogo; G = intensidade da linha de fogo.

* Significativo a 10 %.

Considerando o coeficiente de correlação geral, quando foram analisadas as duas épocas de queima conjuntamente, todas as variáveis apresentaram correlação positiva com a altura de carbonização, ou seja, esta foi maior quanto mais alta a altura de crestamento, a carga de material combustível, a velocidade de propagação do fogo e a intensidade da linha de fogo. À exceção da espessura da camada de serapilheira juntamente com material verde, os coeficientes de correlação geral apresentaram correlação significativa. Dessa forma, a altura de carbonização demonstra ser uma variável com potencial para uso em estudos mais detalhados, para a estimativa de outros parâmetros, visando a caracterização do comportamento e efeitos do fogo.

ROTHERMEL & DEEMING (1980) citam, por exemplo, que a intensidade de queima, que possui forte correlação com as chamas, pode ser utilizada para avaliar os

efeitos do calor acima e abaixo delas. A altura de carbonização, por outro lado, é uma resposta da ação das chamas e tem grande potencial na estimativa da intensidade de queima.

TOZZINI & SOARES (1987) também concluíram que a altura de carbonização foi um bom parâmetro para a estimativa da intensidade do fogo, em um incêndio ocorrido num povoamento de *Pinus taeda*, cuja estimativa foi feita através da equação de Byram, modificada por ROTHERMEL & DEEMING (1980), na qual os autores utilizaram a altura de carbonização no lugar da altura das chamas. As alturas observadas em campo variaram de 0,85 m para a queima sem crestamento das copas a 11,38 m para a queima em que ocorreu o consumo total das copas pelas chamas. Entretanto, BROWN & DEBYLE (1987) encontraram uma relação de 1,8 a 2 entre a altura das chamas e a altura de carbonização, em um teste de queima ao redor de árvores individuais de *Populus tremuloides*. CAIN (1984) encontrou para *Pinus echinata* e *P. taeda* uma relação entre o comprimento das chamas e a altura de carbonização de 1,7 para queima a favor do vento e de 2,1 para queima contra o vento.

BROWN & DEBYLE (1987) encontraram no estudo em florestas de *Populus tremuloides* que a altura de carbonização foi, em média, maior nas áreas de maior declive (31 a 44 %), dependendo da severidade do fogo. Nas áreas declivosas as chamas movem no sentido do aclive ou são empurradas pelo vento contra o lado protegido das árvores, obrigando as chamas a se enrolarem no tronco. Altura de carbonização mais baixa foi encontrada nos locais de queima de flanco ou queima contra o vento ou na queima a favor do vento, quando as chamas não atingiram altura máxima.

4.5 SOLO

O solo é um elemento dinâmico e, por isso, está em constante mudança. As alterações podem ser rápidas ou lentas e dependem do grau de interferência a que ele foi submetido. O solo está sujeito à ação de uma série de variáveis, como as de ordem climática, microbiológica, química e antrópica. Portanto, a análise de solo reflete uma situação momentânea que poderá ou não ser igual num outro momento, dependendo do grau de anisotropismo e de detalhamento na amostragem, da análise e da interpretação dos dados.

O fogo é um dos agentes modificadores que pode afetar as características físicas e químicas do solo. Entretanto, se aplicado como determinam os preceitos da queima controlada, estes efeitos podem se tornar insignificantes.

Uma modificação a que o solo foi submetido, além da queima, foi o corte das árvores. A remoção da vegetação permitiu maior incidência de luz solar, ação mais direta do vento e da chuva. As alterações no solo, em virtude da remoção das árvores, não foram controladas, por fugir dos objetivos desse trabalho, mas elas podem ser detectadas nas parcelas-controle. A Tabela 27 apresenta os resultados da análise de solo.

4.5.1 Comparação entre médias dos tratamentos para cada mês de coleta

a) Queima de primavera

O carbono (C) foi o único elemento que apresentou diferença estatística na queima de primavera. Tal diferença ocorreu entre a testemunha e queima em faixas a favor do vento, apenas no segundo mês de coleta, resultante do aumento do teor de C nas parcelas queimadas. Entretanto, esta oscilação pode não ter importância, considerando que, após a terceira coleta, as variações da concentração do C tiveram o mesmo comportamento quando se compara os três tratamentos.

Os demais elementos analisados não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos para qualquer mês de coleta.

b) Queima de outono

Na queima de outono, oito dos dez elementos do solo analisados (Al^{+3} , C, T, P, $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$, H+Al, m e pH) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para, pelo menos, um dos sete meses de coleta. Desses oito elementos, entretanto, quatro (Al^{+3} , C, T e P) apresentaram diferença significativa antes da aplicação dos tratamentos para o contraste Fp x Co. Nos outros 2 contrastes (To x Fp e To x Co) as médias, antes da aplicação dos tratamentos, foram estatisticamente iguais, com exceção do teor de carbono para o contraste To x Co.

TABELA 27 - MÉDIA DOS PARÂMETROS DO SOLO ANALISADOS, POR TÉCNICA DE QUEIMA E MÊS DE COLETA

pH (CaCl ₂)				pH (CaCl ₂)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col. ¹	Tp	Fp	Cp	col. ¹	To	Fo	Co
1	3,90Ab	3,90Aa	3,93Aa	1	4,10Aa	4,13Ab	4,10Aa
2	3,90Ab	4,15Aa	4,08Aa	2	4,10 Ba	4,30Aa	4,18ABa
3	4,33Aa	4,13Aa	4,10Aa	3	4,23Aa	4,30Aa	4,15Aa
4	4,20Aab	4,20Aa	4,23Aa	4	4,23Aa	4,30Aa	4,18Aa
5	4,20Aab	4,18Aa	4,10Aa	5	4,10Aa	4,18Aab	4,15Aa
6	4,25Aa	4,20Aa	4,10Aa	6	3,95 Bb	4,08Ab	4,00Ba
7	4,33Aa00	4,13Aa	4,13Aa	7	3,75Ac	3,78Ac	3,70Ab

Al ³⁺ (meq/100 g)				Al ³⁺ (meq/100 g)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	7,95Aa	8,00Aa	7,93Aa	1	7,25ABa	6,55Ba	8,60Aa
2	7,95Aa	6,48Aa	6,08Aa	2	7,25Aa	5,95Ba	8,03ABa
3	6,38Aa	6,13Aa	6,13Aa	3	7,03ABa	5,68Ba	8,23Aa
4	6,55Aa	6,15Aa	6,60Aa	4	6,78ABa	5,48Ba	8,25Aa
5	6,68Aa	6,33Aa	6,60Aa	5	6,85Ba	5,83Ba	8,40Aa
6	6,68Aa	6,08Aa	6,45Aa	6	6,43Ba	6,05Ba	7,43Aa
7	6,58Aa	5,05Aa	6,70Aa	7	6,18ABa	5,40Ba	7,30Aa

H+Al (meq/100 g)				H+Al (meq/100 g)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	16,70Aa	16,78Aa	16,23Aa	1	15,40Aa	14,83Aa	15,70Aa
2	16,70Aa	14,33Aa	14,93Aa	2	15,40Aa	13,28Bbc	14,60ABa
3	13,55Ab	14,33Aa	14,93Aa	3	14,00Bc	13,28ABbc	15,13Aa
4	14,30Ab	14,33Aa	14,03Aa	4	13,75ABbc	13,28Bbc	14,85Aa
5	13,75Ab	14,33Aa	14,93Aa	5	14,00Ac	14,00Aabc	14,55Aa
6	14,03Ab	14,03Aa	14,60Aa	6	13,25ABb	12,78Bc	14,03Aa
7	13,55Ab	14,33Aa	14,60Aa	7	15,10ABa	14,55Bab	15,70Aa

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ Coleta número 1 foi a realizada antes da queima; de 2 a 6 são as coletas mensais após a queima;

Médias, na linha, seguidas da mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

continua ...

TABELA 27, cont.

Ca ⁺² +Mg ⁺² (meq/100 g)				Ca ⁺² +Mg ⁺² (meq/100 g)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col. ¹	Tp	Fp	Cp	col. ¹	To	Fo	Co
1	1,13Aa	0,90Aa	1,03Aa	1	0,85Aa	0,88Ab	1,03Aa
2	1,13Aa	1,08Aa	1,15Aa	2	0,85Ba	1,20ABab	1,38Aa
3	1,08Aa	1,23Aa	1,08Aa	3	1,08Aa	1,28Aa	1,23Aa
4	0,93Aa	1,18Aa	1,03Aa	4	0,93Aa	1,13Aab	1,20Aa
5	1,05Aa	1,13Aa	1,18Aa	5	1,10Aa	1,13Aab	1,10Aa
6	0,95Aa	1,20Aa	0,98Aa	6	0,95Aa	1,00Aab	1,18Aa
7	1,20Aa00	1,13Aa	1,18Aa	7	1,08Aa	1,13Aab	1,35Aa

K ⁺ (meq/100 g)				K ⁺ (meq/100 g)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	0,18Aa	0,21Aa	0,21Aa	1	0,23Aa	0,22Aa	0,26Aa
2	0,18Aa	0,25Aa	0,25Aa	2	0,23Aa	0,28Aa	0,33Aa
3	0,24Aa	0,28Aa	0,27Aa	3	0,23Aa	0,26Aa	0,32Aa
4	0,25Aa	0,25Aa	0,26Aa	4	0,24Aa	0,31Aa	0,32Aa
5	0,25Aa	0,24Aa	0,25Aa	5	0,26Aa	0,26Aa	0,33Aa
6	0,23Aa	0,24Aa	0,25Aa	6	0,22Aa	0,21Aa	0,25Aa
7	0,25Aa	0,25Aa	0,27Aa	7	0,24Aa	0,23Aa	0,26Aa

T (meq/100 g)				T (meq/100 g)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	18,00Aa	17,60Aa	17,48Aa	1	16,50ABa	15,95Ba	16,98Aab
2	18,00Aa	15,65Aa	16,35Aa	2	16,50Aa	14,75Bab	16,30Aab
3	14,88Ab	15,83Aa	16,30Aa	3	15,30Bb	14,83Bab	16,68Aab
4	15,45Ab	15,75Aa	15,33Aa	4	14,90Abc	14,73Aab	16,38Aab
5	15,05Ab	15,70Aa	16,38Aa	5	15,35Ab	15,40Aa	16,00Aab
6	15,18Ab	15,45Aa	15,85Aa	6	14,43Bc	14,00Bb	15,43Ab
7	15,00Ab	15,70Aa	16,08Aa	7	16,43Ba	15,90Ba	17,33Aa

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ Coleta n° 1 foi a realizada antes da queima; de 2 a 6 são as coletas mensais após a queima;

Médias, na linha, seguidas da mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

continua ...

TABELA 27, cont.

P (ppm)				P (ppm)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col. ¹	Tp	Fp	Cp	col. ¹	To	Fo	Co
1	1,25Aa	1,50Aa	1,75Aa	1	1,25ABa	1,00Ba	1,75Aa
2	1,25Aa	2,00Aa	2,00Aa	2	1,25Ba	1,75ABa	2,50Aa
3	1,25Aa	2,25Aa	2,25Aa	3	1,25Aa	1,50Aa	2,25Aa
4	1,75Aa	1,25Aa	2,75Aa	4	1,25Aa	1,50Aa	1,75Aa
5	1,00Aa	1,50Aa	1,50Aa	5	1,00Aa	1,00Aa	1,50Aa
6	1,25Aa	1,25Aa	1,50Aa	6	1,50Ba	1,75Ba	2,50Aa
7	1,25Aa	1,50Aa	2,00Aa	7	1,00Ba	1,25ABa	1,75Aa

C (%)				C (%)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	3,05Ba	3,20Bab	3,53Aa	1	3,28Bb	3,53Bab	4,18Aa
2	3,05Ba	3,43Aa	3,18ABa	2	3,28Ab	3,33Abc	4,00Aa
3	2,90Aa	3,10Aabc	3,35Aa	3	3,25Bb	3,03Bbc	3,85Aa
4	3,05Aa	2,95Abc	3,43Aa	4	3,10Ab	2,78Ac	3,75Aa
5	3,05Aa	3,15Aabc	3,33Aa	5	4,13Aa	3,90Aa	4,15Aa
6	2,70Aa	2,73Ac	3,00Aa	6	3,25Ab	2,80Ac	3,25Aa
7	3,08Aa	3,00Aabc	3,40Aa	7	3,33Ab	3,13Abc	3,63Aa

m (%)				m (%)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col.	Tp	Fp	Cp	col.	To	Fo	Co
1	85,63Aa	87,28Aa	85,90Aa	1	87,15Aa	85,60Aa	86,83Aa
2	85,63Aa	82,78Aa	80,70Aa	2	87,15Aa	79,75Ba	82,40ABa
3	82,25Aa	80,08Aa	81,13Aa	3	84,43Aab	78,33Aa	84,00Aa
4	84,43Aa	80,88Aa	82,55Aa	4	85,50Aab	78,93Aa	84,03Aa
5	83,13Aa	81,98Aa	81,40Aa	5	83,73Aab	80,75Aa	84,98Aa
6	84,35Aa	79,93Aa	82,78Aa	6	84,75Aab	83,35Aa	83,90Aa
7	81,20Aa	82,15Aa	81,35Aa	7	82,50Ab	79,90Aa	81,55Aa

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ Coleta n° 1 foi a realizada antes da queima; de 2 a 6 são as coletas mensais após a queima;

Médias, na linha, seguidas da mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

continua ...

TABELA 27, cont.

v (%)				v (%)			
Mês	Técnica de queima			Mês	Técnica de queima		
col. ¹	Tp	Fp	Cp	col. ¹	To	Fo	Co
1	7,33Aa	6,43Aa	7,10Aa	1	6,60Aa	6,88Ab	7,55Aa
2	7,33Aa	8,45Aa	8,58Aa	2	6,60Aa	10,08Aa	10,45Aa
3	8,95Aa	9,50Aa	8,33Aa	3	8,48Aa	10,35Aa	9,25Aa
4	7,68Aa	9,08Aa	8,43Aa	4	7,78Aa	9,78Aa	9,25Aa
5	8,65Aa	8,70Aa	8,70Aa	5	8,78Aa	9,03Aab	9,00Aa
6	10,30Aa	9,30Aa	7,80Aa	6	8,03Aa	8,63Aab	9,23Aa
7	9,75Aa	8,78Aa	9,05Aa	7	8,00Aa	8,50Aab	9,28Aa

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

¹ Coleta n° 1 foi a realizada antes da queima; de 2 a 6 são as coletas mensais após a queima;

Médias, na linha, seguidas da mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Após a queima, o K^+ e o parâmetro “v” não apresentaram alteração, devido ao efeito dos tratamentos em nenhum mês de coleta. Os parâmetros ou elementos do solo que apresentaram diferença estatística entre os tratamentos de queima foram:

b.1) pH

O efeito do fogo foi mínimo sobre a acidez do solo. Em apenas duas coletas (segunda e sexta) ocorreram diferenças significativas entre as técnicas de queima, ou seja, as médias que antes da aplicação dos tratamentos eram estatisticamente iguais ($To = Fp = Co$) apresentaram diferença significativa para os contrastes $To \times Fp$, na segunda coleta e para os contrastes $To \times Fo$ e $Fo \times Co$, na sexta coleta. Essas diferenças ocorreram devido ao maior valor de pH das parcelas submetidas à queima em faixas a favor do vento.

b.2) Alumínio (Al^{+3})

Comparando-se as médias das parcelas que foram submetidas à queima em faixas a favor e contra o vento (contraste $Fo \times Co$), observa-se diferença significativa entre si antes

da queima. Esta diferença persistiu até o sétimo mês, exceto para a segunda coleta, com ligeira diminuição em relação à coleta feita antes da queima.

No contraste To x Co, as variações foram estatisticamente significativas somente no quinto e sexto meses e, no contraste To x Fo, ocorreu diferença estatisticamente significativa apenas no segundo mês de coleta.

b.3) Hidrogênio + Alumínio (H + Al)

O H + Al teve comportamento semelhante ao do Al^{+3} para os três contrastes analisados. Porém, o número de médias com diferença estatística entre si foi menor e não se registrou diferença para os contrastes da primeira e da quinta coletas.

b.4) Carbono (C)

A concentração de carbono, segundo os resultados obtidos no presente estudo, demonstra não ter sofrido influências consideráveis do fogo, uma vez que, estatisticamente, apenas na terceira coleta, ocorreu diferença significativa entre as médias do contraste To x Co e Fo x Co. Embora a tendência tenha sido de redução do percentual de carbono, a partir do estágio inicial e pelo fato de tal alteração ter ocorrido, também, nas parcelas-controle, pode-se supor que as variações detectadas deveram-se mais à dinâmica natural do solo do que propriamente ao efeito da queima.

b.5) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A capacidade de troca catiônica, dentre os parâmetros analisados, foi a que mais apresentou diferença estatística significativa entre as técnicas de queima, incluindo o controle.

A maior diferença foi observada para o contraste Fo x Co, em que as médias diferiram mesmo antes da aplicação dos tratamentos, como ocorreu com o Al^{+3} . A diferença estatística detectada antes da queima persistiu até a terceira coleta. Na quarta e quinta coletas as médias não diferiram em nenhum contraste, voltando a apresentar diferença novamente na sexta e sétima coletas para os contrastes To x Co e Fo x Co.

coletas as médias não diferiram em nenhum contraste, voltando a apresentar diferença novamente na sexta e sétima coletas para os contrastes $T_o \times C_o$ e $F_o \times C_o$.

b.6) Saturação em Alumínio (m)

Esse parâmetro somente apresentou diferença estatística significativa na segunda coleta, para o contraste $T_o \times F_o$. Para os demais contrastes não foi detectada diferença, em nenhum mês de coleta.

b.7) Cálcio + Magnésio ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$)

A concentração de $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ também demonstrou pouca alteração como resposta aos tratamentos de queima, de acordo com a metodologia utilizada. O único efeito estatisticamente significativo foi na segunda coleta, para o contraste $T_o \times C_o$, quando a média da queima contra o vento sofreu acréscimo de cerca de $0,52 \text{ meq.}(100 \text{ g})^{-1}$ de solo. Os demais contrastes não apresentaram diferença estatisticamente significativa ao longo do período de coleta dos dados.

b.8) Fósforo (P)

O contraste $F_o \times C_o$ apresentou diferença estatística significativa na primeira e sexta coletas. O contraste $T_o \times C_o$ apresentou 3 coletas com diferença significativa (segunda, sexta e sétima), com tendência de aumento da concentração de fósforo a partir do primeiro mês após a aplicação dos tratamentos de queima.

4.5.2 Comparação entre médias, ao longo dos meses de coleta, para cada tratamento

a) Queima de primavera

À semelhança da comparação entre as médias dos tratamentos para cada mês de coleta, as médias ao longo dos meses de coleta, para cada tratamento, apresentaram pouca

variação. Os elementos Al^{+3} , $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$, K^{+} , P e os parâmetros “m” e “v” apresentaram médias estatisticamente iguais, ao longo do período de coleta para o controle, queima em faixas a favor e contra o vento. Os elementos ou parâmetros que apresentaram diferença significativa ao longo do período de coleta foram os seguintes:

a.1) pH

A ação do fogo, em função dos 2 tratamentos de queima, não afetou significativamente o pH do solo durante os sete meses de coleta. Mas, nas parcelas-testemunha, o aumento registrado na terceira, sexta e sétima coletas resultou em diferença estatística significativa comparadas à primeira e segunda coletas.

a.2) Hidrogênio + Alumínio (H + Al)

Apresentaram comportamento inverso ao do pH, com relação aos valores absolutos observados, ocorrendo redução da concentração ao longo dos meses. As médias das parcelas submetidas aos tratamentos de queima foram estatisticamente iguais ao longo do período de coleta, incluindo a coleta antes da queima. A diferença estatística detectada ocorreu entre as médias das parcelas-testemunha, em que a primeira (antes do corte das árvores) e a segunda (um mês após o corte das árvores) coletas diferiram estatisticamente das médias das demais coletas.

a.3) Carbono (C)

O carbono foi o único elemento que apresentou variação estatisticamente significativa ao longo dos meses de coleta em função dos tratamentos (queima em faixas a favor do vento). O menor teor registrado foi o da coleta feita no sexto mês, resultando em diferença estatisticamente significativa das médias da primeira e da segunda coletas. Os demais valores encontrados depois da queima foram estatisticamente iguais a este valor e à concentração verificada antes da queima.

a.4) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

Para a queima de primavera, a tendência das médias, quanto ao valor inicial (antes da queima), foi de redução, permanecendo baixo até o sétimo mês de coleta. Apenas as parcelas-controle apresentaram diferença estatística significativa entre a primeira e segunda coletas com as demais coletas, ou seja, aquela realizada antes e a primeira feita depois da aplicação dos tratamentos diferenciam estatisticamente das demais.

b) Queima de outono

As médias dos tratamentos da queima de outono apresentaram maiores diferenças estatisticamente significativas em relação à queima de primavera. Mesmo assim, o Al^{+3} , o K^{+} e o P mantiveram médias estatisticamente iguais entre todos os meses de coleta, incluindo a coleta feita antes da queima. Os elementos e parâmetros do solo que apresentaram diferença estatística foram:

b.1) pH

A maior diferença registrada foi entre a quarta e a sétima coletas sendo de 0,48 para o controle e queima contra o vento e de 0,52 para a queima em faixas a favor do vento. O baixo valor de pH verificado no sétimo mês, para os três tratamentos, sugere, a princípio, ser em razão de outros fatores que não alterações ocorridas pela ação do fogo, por estarem abaixo das médias verificadas antes da queima.

A tendência geral foi de aumento do pH até o quarto mês de coleta e redução a partir daí, atingindo níveis inferiores aos iniciais no último mês.

b.2) Hidrogênio + Alumínio (H+Al)

A alteração da concentração de H + Al apresentou a mesma tendência observada para o Al^{+3} , com ligeira redução ao longo dos meses de coleta e com valores atingindo, no máximo, aqueles observados antes da queima.

A diferença estatística, ao longo dos sete meses de coleta, foi observada apenas para a técnica de queima em faixas a favor do vento, reduzindo a partir da segunda coleta e voltando a aumentar no sétimo mês. Esta concentração foi estatisticamente igual à existente antes da aplicação dos tratamentos. Um perfil semelhante ocorreu para os valores das parcelas-controle.

b.3) Carbono (C)

Na queima em faixas a favor do vento, as médias que diferiram estatisticamente do valor registrado antes da queima foram as da quarta e sexta coletas. Um alto valor registrado no quinto mês resultou numa diferença estatística significativa com as demais coletas, excetuando a média de antes da queima. Notou-se também elevação da concentração no quinto mês do controle, fazendo com que tal média diferisse estatisticamente de todas as outras.

Alguma interferência deve ter ocorrido na determinação da concentração de carbono da quinta coleta. Observa-se que para os 3 tratamentos os valores apresentaram tendência de redução até o quarto mês; no quinto mês ocorreu elevação e, posteriormente, redução em todos os tratamentos.

b.4) T - Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC apresentou na última coleta média próxima (parcelas-controle e em faixas a favor do vento) ou mesmo superior (contra o vento) ao valor registrado antes da queima. Um baixo valor registrado no sexto mês, da queima em faixas a favor do vento, resultou em diferença estatística significativa com a primeira e com a quinta e sétima coletas. O mesmo aconteceu com a queima contra o vento mas com diferença significativa apenas entre o sexto e o sétimo meses.

As parcelas-controle sofreram maior alteração ao longo do período de coleta que as parcelas queimadas, embora todas tenham sido exploradas.

b.5) Saturação em Alumínio (m)

Nenhuma diferença estatística ocorreu para a queima em faixas a favor e contra o vento. No controle, um baixo percentual na sétima coleta resultou numa diferença estatística significativa entre esta média e duas outras: a primeira (antes da queima) e a segunda (depois da queima).

A tendência geral foi de uma ligeira redução do percentual de saturação em alumínio depois da queima ou colheita das árvores das parcelas-controle e permanência desses baixos níveis até o sétimo mês de coleta.

b.6) Cálcio + Magnésio ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$)

A concentração de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ apresentou pequena variação não sendo suficiente para causar diferença estatística significativa para os tratamentos da queima contra o vento e testemunhas. A única diferença significativa detectada foi entre a primeira e a terceira coleta da queima em faixas a favor do vento. As alterações sofridas na média foram de uma pequena elevação após os tratamentos e permanência nesse nível até o final da amostragem.

4.6 ALTURA E PERCENTAGEM DE BROTAÇÃO

A regeneração das cepas de eucalipto está associada a uma série de fatores que parecem estar relacionados com diversos mecanismos genéticos e ambientais, principalmente ligados às características do sítio (POGGIANI *et al.*, 1983). A ação do fogo sobre as cepas gera muita controvérsia, principalmente pela falta de descrição quantitativa do comportamento do fogo e de um planejamento correto da queima controlada. Entretanto, as discussões, em face de outros estudos, não podem ser aprofundadas, pela falta de termos comparativos. ROTHERMEL & DEEMING (1980) chamam a atenção para o fato que os conhecimentos sobre comportamento e efeitos do fogo são de valor limitado, principalmente pelo emprego de descrições qualitativas não-padronizadas. Isso impede ou dificulta em muito as tentativas de correlacionar ou de comunicar os resultados de diferentes estudos.

A Tabela 28 apresenta as médias percentuais das alturas dos brotos medidos em, aproximadamente, 7 meses após a queima e 6,5 mês após o corte para as duas épocas de queima. As brotações não sofreram nenhum tipo de intervenção até a medição da altura. O número de cepas brotadas foi contado no quinto mês após o corte das árvores.

TABELA 28 - VALORES MÉDIOS DA ALTURA (cm) E DA PERCENTAGEM DE BROTAÇÃO POR TRATAMENTO E ÉPOCA DE QUEIMA

Tratamento	Nº de árv. brotadas	% de brotação	Altura da brotação (cm)
Tp	50	22,45 a	155,7 bc
Fp	114	49,08 a b	155,9 bc
Cp	100	43,91 a b	178,1 c
To	116	51,88 b	107,0 a
Fo	154	66,63 b	124,2 a b
Co	128	55,18 b	115,7 a b

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

Os dados revelam que a altura da brotação não apresentou diferença estatística significativa, em virtude da técnica de queima, dentro de uma mesma época (primavera ou outono). Entretanto, quando comparadas as duas épocas conjuntamente, observou-se média bem superior para as brotações das parcelas de queima contra o vento de primavera, a qual foi diferente estatisticamente de todos os tratamentos da queima de outono.

Uma evidência de que os tratamentos de queima aparentemente não influenciaram a altura de brotação é que as parcelas-testemunha, das duas épocas de queima, apresentaram médias estatisticamente diferentes. Pode-se deduzir, portanto, que outros fatores, principalmente o clima, podem ter sido predominantes no desenvolvimento dos brotos. PEREIRA *et al.* (1980b) chegaram a várias conclusões num estudo realizado em povoamentos de *Eucalyptus* spp, referente à emissão de brotos após o corte. Dentre as conclusões, constataram que o maior número de brotos era emitido por cepas com diâmetro médio (17,9 cm) e por povoamentos mais idosos, ou seja, para uma mesma classe de diâmetro, a altura das brotações dos povoamentos de 10 anos era maior que nos povoamentos de 6 e 8 anos; quanto maior o diâmetro das cepas, maior era a altura das

brotações, com diâmetros a partir de 36,6 cm a altura das brotações começavam a decrescer.

Em outro trabalho, PEREIRA *et al.* (1980c) fizeram uso do fogo para limpeza de cepas em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* e concluíram que o fogo foi prejudicial ao desenvolvimento das brotações, sendo portanto, prática não recomendável. Entretanto, os autores não consideraram os resultados da análise estatística nesta conclusão, uma vez que dentre os 8 tratamentos estudados apenas 2 (limpeza total com uso do fogo, sem proteção das cepas e limpeza em torno das cepas-0,5 m de raio) apresentaram diferença entre si, a 5 %, para a altura e área basal, aos dezoito meses de idade.

POGGIANI *et al.* (1983), estudando a ação do fogo sobre povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em Bom Despacho, MG, encontraram resultados diferentes para a altura das brotações em que se detectou diferença estatisticamente significativa, entre áreas não-queimadas e queimadas. As médias foram de 7,5 m e 6,8 m para áreas não-queimadas e queimadas, aos 29 meses e de 8,5 m e 8,0 m para as áreas não-queimadas e queimadas aos 38 meses.

Segundo PEREIRA *et al.* (1980a), o número de brotos por cepa não influenciou o desenvolvimento nem em altura, nem em área basal, quando se comparou a altura de diversos números de brotos por cepa, incluindo tratamento sem desbrota, a 10 %.

A percentagem de cepas que emitiram brotação também não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, dentro de uma mesma época de queima. A análise conjunta das duas épocas detectou diferença apenas entre as parcelas-testemunha da queima de primavera e os tratamentos da queima outono (testemunha, queima em faixas a favor e queima contra o vento).

Com relação ao percentual de regeneração ou brotação, os resultados encontrados por POGGIANI *et al.* (1983) assemelharam-se ao do presente estudo, no que diz respeito à comparação estatística, cujos valores percentuais foram de cerca de 46,5 e 22,5 %, e de 60,9 e 51,88 % respectivamente para as parcelas queimadas e não-queimadas, de primavera e de outono. O referido autor também não encontrou diferença estatística no percentual de regeneração entre as áreas queimadas e não-queimadas aos 29 e 38 meses de idade das brotações, que foram de 74,80 e 80,2 %, aos 29 meses, e de 73,9 e 83,5 %, aos 38 meses, para as áreas queimadas e não-queimadas, respectivamente. Uma das razões para

o baixo percentual de regeneração encontrado no presente estudo pode ter sido o efeito do método de colheita, o qual foi feito com o *feller buncher* de tesoura.

É necessário ressaltar, ainda, que nenhum dos autores citados (PEREIRA *et al.* (1980c) e POGGLANI *et al.* (1983)) mencionou alguma característica da queima controlada realizada, bem como alguma característica do material combustível da área, dentre outros parâmetros relacionados com o comportamento do fogo. O único fator considerado foi a manutenção do fogo dentro das parcelas, o que não tem nenhum valor para comparação de resultados de outros estudos.

Apesar das análises estatísticas efetuadas não acusarem diferença, em virtude da técnica de queima, pelas informações obtidas observa-se que as parcelas-testemunha apresentaram comportamento diferente em relação às demais. Enquanto as parcelas-testemunha da queima de primavera tiveram o menor percentual de cepas brotadas (estatisticamente diferente dos tratamentos de outono), as parcelas-testemunha da queima de outono apresentaram menor altura das brotações (estatisticamente diferente dos tratamentos de primavera). Embora os dados não permitam discussões mais detalhadas, maior número de cepas das parcelas que sofreram queima de primavera pode ter sido estimulado pelo fogo a lançar brotos, aproximando do número de cepas brotadas das parcelas de outono. Por outro lado, a altura média das brotações das parcelas que sofreram queima, no outono, pode ter sofrido influência da queima, aproximando os valores das médias das alturas da queima de primavera. Estas inferências, devem, entretanto, ser analisadas em estudos específicos, verificando, especificamente, os efeitos meteorológicos.

Uma análise de correlação simples foi feita entre a altura e percentagem de regeneração e variáveis do comportamento do fogo (Tabela 29).

Os coeficientes de correlação determinados para a altura de brotação, para os tratamentos das duas épocas de queima, não apresentam consistência, nem para a intensidade de queima, nem para a energia liberada, sugerindo que outros fatores tiveram maior interferência no crescimento dos brotos, como pode ser observado pela grande diferença entre os coeficientes da queima contra o vento de primavera e de outono.

A correlação envolvendo as duas épocas de queima (geral) foi muito baixa e não significativa, tanto para a altura das brotações quanto para a percentagem de regeneração.

TABELA 29 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ALTURA (cm) E PERCENTAGEM DE REGENERAÇÃO E VARIÁVEIS RELACIONADAS COM O COMPORTAMENTO DO FOGO

Tra- ta- mento	Variáveis do comportamento do fogo				
	Altura da brotação		% de regeneração		
	Inten- sidade	Energia liberada	Diâmetro médio	Inten- sidade	Energia liberada
Tp			-0,51		
Fp	-0,84	-0,57	-0,49	0,81	-0,45
Cp	0,10	0,49	-0,84	-0,71	-0,61
To			-0,73		
Fo	-0,62	-0,27	0,90*	-0,07	0,60
Co	0,79	0,90	-0,71	0,95*	0,84
Geral	-0,26	-0,09	-0,13	0,36	0,32

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

* Significativo a 10 %.

Na análise das variáveis dentro de cada época de queima, apenas a queima em faixas a favor do vento de outono apresentou coeficiente de correlação significativo entre intensidade da linha de fogo e percentagem de regeneração. Os demais coeficientes, incluindo a quantidade de energia liberada, não foram significativos. A correlação positiva indica que maior regeneração ocorreu quando a intensidade de queima e a quantidade de energia liberada era maior. Entretanto, a falta de consistência, que pode ter sido causada pela influência de outros fatores, como clima e método de colheita, é visível quando se comparam os coeficientes para energia liberada da queima de primavera (sinal negativo) e queima de outono (sinal positivo). Sabendo-se que a interferência desses fatores foi igual nas duas épocas de queima, poder-se-ia dizer que a quantidade de energia liberada estimulou a regeneração na queima de outono e teve efeito contrário na queima de primavera.

A correlação também foi determinada entre o percentual de regeneração e o diâmetro médio das parcelas. Embora tenha apresentado coeficientes superiores em relação às outras variáveis (Tabela 29), a correlação foi significativa apenas para a queima em faixas a favor do vento de outono. Na análise geral, considerando as duas épocas de queima, a correlação também foi fraca. PEREIRA *et al.* (1980b) encontraram relação entre o

diâmetro das cepas e o número de brotos emitidos, sendo que cepas com pequenos diâmetros e com diâmetros muito alto tinham tendência a emitir menor número de brotos. No presente estudo, a variação diamétrica foi muito grande; dentre os diâmetros medidos e estimados encontrou-se variação aproximada de 4,20 a 39,17 cm (Anexo B).

4.7 ANÁLISE FOLIAR

Uma análise foliar foi feita aos 9 meses de idade da brotação com o objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos, tendo em vista os nutrientes liberados pela queima.

A Tabela 30 mostra as médias por tratamento e a época de queima, para os 5 nutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg).

TABELA 30 - QUANTIDADE MÉDIA DE N, P, K, Ca E Mg, EM %, RESULTANTE DA ANÁLISE FOLIAR, AOS 9 MESES DE IDADE

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
Tp	2,45 a	0,11 a	0,95 a	0,59 a	0,15 a
Fp	2,35 a	0,09 a	0,92 a	0,55 a	0,15 a
Cp	2,42 a	0,10 a	0,96 a	0,68 a	0,16 a
To	2,83 a	0,19 a	1,16 a	0,65 a	0,15 a
Fo	2,62 a	0,17 a	1,12 a	0,73 a	0,15 a
Co	2,70 a	0,18 a	1,11 a	0,63 a	0,14 a

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, dentro de cada época de queima, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

De acordo com a análise realizada, para cada época de queima, os teores de nutriente mineral das folhas das parcelas queimadas não diferiram estatisticamente das parcelas-testemunha. Estes resultados seguiram a mesma tendência da altura das brotações em que também não se detectou diferença entre as alturas dos brotos, dentro da mesma época de queima. Essas duas situações permitem supor que a adição ou supressão de nutrientes, que porventura tenha ocorrido devido a queima, não teve resposta direta nos

parâmetros analisados, ou seja, altura dos brotos aos 6,5 meses e análise foliar aos 9 meses após o corte das árvores.

A concentração de N das folhas de *Eucalyptus alba* e de *E. grandis*, com 2 anos de idade e sem sintomas de desnutrição, encontrada por HAAG *et al.* (1961)⁸, citados por HAAG *et al.* (1976), foi da ordem de 2,07 e 2,22 %, respectivamente. Os valores do presente trabalho estão bem acima e mostram que na data da coleta do material a queima parece não ter exercido qualquer influência. BELLOTE (1979)⁹, citado por PEREIRA *et al.* (1984), encontrou valores da ordem de 1,78 % para folhas de *E. grandis*, de 7 anos de idade, de 1,41 % para *E. saligna* e de 0,91 % para *E. citriodora*.

As concentrações de P, K, Ca e Mg também mantiveram o mesmo comportamento. Embora apresentassem valores inferiores aos encontrados na literatura, tais concentrações foram respostas do próprio solo, uma vez que os valores das parcelas que sofreram tratamento não diferiram estatisticamente das testemunhas.

As baixas concentrações de P não têm nenhuma relação com o efeito do fogo uma vez que as parcelas queimadas foram estatisticamente iguais às não queimadas. Isso pode ser traduzido como uma baixa capacidade de extração da espécie e da baixa concentração do elemento no solo. HAAG *et al.* (1976) encontraram concentrações de P variando de 0,06 a 0,12 % em dois tipos de solo diferentes, entre 5 espécies. PEREIRA *et al.* (1984) encontraram 0,12 % de P para *Eucalyptus saligna*, e 0,14 % para *E. citriodora* aos 9 anos de idade.

As concentrações de K também estão coerentes com as encontradas na literatura. HAAG *et al.* (1961)⁹, citados por HAAG *et al.* (1976), encontraram valores da ordem de 1,04 a 1,14 % de K nas folhas de *Eucalyptus alba* e *E. grandis*, respectivamente, aos 2 anos de idade. PEREIRA *et al.* (1984) determinaram uma concentração de 0,22 % de K para *E. saligna* e de 1,00 % de K para *E. citriodora*, ambas as espécies com 9 anos de idade. HAAG *et al.* (1976) encontraram valores variando de 0,17 % para *E. microcorys* e 0,58 % para *E. grandis*, em dois diferentes tipos de solo.

HAAG *et al.* (1976) encontraram para Ca valores bem inferiores aos verificados neste trabalho, variando de 0,24 % para *E. microcorys* a 0,54 % para *E. robusta*, plantados

⁸ HAAG, H.P. *et al.* - 1961 - Composição química de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* (Mill) Marden: resultados preliminares. Conferência Mundial do Eucalipto, 2, São Paulo, 1961, v. 2, p. 1329-34.

⁹ BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade. ESALQ-USP, Piracicaba, 1979. 129 p. (TESE M.S.)

em dois diferentes tipos de solos e cita que estes valores são inferiores aos encontrados na literatura, conforme mencionado por METRO & BEAUCORPS (1958)¹⁰, os quais foram da ordem de 1,07 % para *E. camaldulensis* e de 1,50 % para *E. gomphocephala*.

As concentrações de Mg, embora não apresentassem variação entre testemunha e tratamentos, foram inferiores às encontradas na literatura. PEREIRA *et al.* (1984) encontraram 0,36 e 0,28 % para *Eucalyptus saligna* e *E. citriodora*, respectivamente, aos 9 anos de idade, e HAAG *et al.* (1976) encontraram concentrações variando de 0,11 % para *E. resinifera* a 0,17 % para *E. robusta*, em um mesmo tipo de solo.

4.8 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE CORTE

A colheita florestal é composta por três atividades básicas: corte, extração e transporte (TANAKA, 1986 e SANTOS & MACHADO, 1995). A operação de derrubada ou corte da árvore é uma das etapas iniciais do processo de colheita florestal e tem, ultimamente, merecido grande atenção de técnicos e pesquisadores com o advento da mecanização florestal.

Segundo SILVA (1987), a necessidade de racionalizar as atividades florestais, em especial a exploração, tem levado as empresas a estudarem a viabilidade técnica e econômica de alguns sistemas de corte e transporte, visando minimizar os custos.

Embora os métodos mecanizados sejam uma realidade em algumas empresas, o surgimento de novas máquinas e as inovações tecnológicas exigem permanente avaliação para adequar o equipamento às condições específicas de cada local de uso, tendo em vista as especificidades na condução silvicultural da floresta.

No presente estudo, a necessidade de se medir o tempo gasto no corte das árvores foi para comparar o rendimento entre as parcelas testemunhas e queimadas nas quais se empregaram técnicas de queima em faixas a favor e contra o vento. Portanto, não se pretendia conhecer o tempo gasto nos diferentes elementos do ciclo de corte (mover, cortar, empilhar), mas apenas o tempo total gasto para o *feller buncher* de tesoura cortar as árvores de uma parcela, deixando-as em feixes prontos para serem arrastadas.

¹⁰ METRO, A.E.; BEAUCORPS, G. de. 1958. Influência dos povoamentos de eucaliptos sobre a evolução dos solos arenosos ao Rharr. *Fertilité*, Paris, 4:3-13.

O tempo gasto para corte, o volume por parcela e a relação volume por tempo, cujos valores foram empregados na análise de contraste ortogonal, estão apresentados na Tabela 31.

TABELA 31 - TEMPO DE CORTE (min), VOLUME (m³) E RELAÇÃO VOLUME/TEMPO PARA AS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO

Queima de primavera					Queima de outono				
Par- cela	Tempo (min.)	Volume (m ³)	(m ³)/ min.	N. de árvores	Par- cela	Tempo (min.)	Volume (m ³)	(m ³)/ min.	N. de árvores
A-5-Tp	85,45	46,55	0,54	185	A-3-To	81,07	49,10	0,61	231
B-7-Tp	89,28	49,01	0,54	235	B-4-To	81,88	43,02	0,53	197
C-5-Tp	82,75	50,79	0,61	214	C-4-To	96,00	51,73	0,54	250
D-2-Tp	83,65	45,59	0,54	234	D-3-To	77,25	41,31	0,53	208
Média	85,28	47,73 b	0,56	217	Média	84,05	46,29 a	0,55	222
A-6-Fp	77,50	35,75	0,46	214	A-4-Fo	100,65	54,66	0,54	260
B-3-Fp	79,55	43,78	0,55	243	B-2-Fo	76,52	37,08	0,48	204
C-6-Fp	84,17	46,39	0,55	209	C-7-Fo	80,63	58,96	0,73	237
D-6-Fp	87,42	38,15	0,44	263	D-1-Fo	75,78	57,80	0,76	222
Média	82,16	41,02 a	0,50	232	Média	83,40	52,13 a	0,63	231
A-7-Cp	79,67	43,31	0,54	245	A-1-Co	91,08	49,60	0,54	206
B-1-Cp	76,75	40,77	0,53	197	B-6-Co	76,43	47,95	0,63	232
C-2-Cp	79,17	38,09	0,48	234	C-3-Co	71,82	36,77	0,51	230
D-4-Cp	78,20	46,58	0,60	219	D-5-Co	84,68	54,40	0,64	260
Média	78,45	42,19 a	0,54	224	Média	81,00	47,18 a	0,58	232

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono. Médias seguidas da mesma letra, para uma mesma época de queima, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK, a 10 %.

O tempo gasto para derrubar as árvores das parcelas-testemunha foi ligeiramente superior ao gasto nas parcelas que sofreram queima em faixas a favor do vento. Este último foi também superior ao tempo gasto nas parcelas submetidas a queima contra o vento, quando consideradas as médias por tratamento e a época de queima.

Segundo SILVA & MACHADO (1995), a variação do número de árvores por hectare tem efeito relativamente pequeno no tempo-padrão e no custo das operações de corte, em comparação com o efeito do diâmetro médio do povoamento. Portanto, o volume parece ser a variável determinante do rendimento de corte.

Uma comparação entre as médias do volume das parcelas de cada tratamento, em cada época de queima (Tabela 31), acusou diferença significativa apenas entre a testemunha e as outras duas técnicas de queima (em faixas a favor do vento e contra o vento) da queima de primavera, ou seja, o volume médio das parcelas testemunha foi superior e estatisticamente diferente das parcelas dos outros dois tratamentos, além de possuir menor número de árvores.

Estas duas condições contribuíram para maior rendimento de corte, resultando em $0,56 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (parcelas-testemunha) contra $0,50$ e $0,54 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ das parcelas submetidas a queimas em faixa a favor e contra o vento, respectivamente. Esta diferença, entretanto, não foi estatisticamente significativa de acordo com a análise de contraste efetuada para cada época de queima (Tabela 32), considerando a relação volume/tempo na avaliação do rendimento de corte das árvores.

TABELA 32 - RESULTADO DA ANÁLISE DE CONTRASTE PARA A RELAÇÃO VOLUME/TEMPO, PARA AS QUEIMAS DE PRIMAVERA E OUTONO

Queima de primavera				
Fonte Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento	2	0,04048574	0,0202	1,59 ns
Tes x trat	1	0,02480000	0,0248	1,95 ns
Fp x Cp	1	0,01570198	0,0157	1,23 ns
Erro	9	0,11460000	0,0127	
Total	11	0,15510000		
Queima de outono				
Fonte Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento	2	0,06913134	0,0346	0,79 ns
Tes x trat	1	0,04330000	0,0433	0,99 ns
Fo x Co	1	0,02579876	0,0258	0,59 ns
Erro	9	0,39290000	0,0437	
Total	11	0,46210000		

$F(2,9) = 4,3$ $F(1,9) = 5,1$

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

Outro aspecto importante que pode afetar o rendimento de corte das árvores é a declividade do terreno. Em terrenos declivosos a tendência é de redução do rendimento, em virtude da maior dificuldade de deslocamento da máquina dentro da área.

Os valores da declividade por parcela estão apresentados no Anexo C.

Uma análise de correlação simples foi realizada entre a declividade média das parcelas e o respectivo tempo e rendimento de corte. Os coeficientes estão apresentados na Tabela 33.

TABELA 33 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A DECLIVIDADE E O TEMPO DE CORTE E A DECLIVIDADE E O RENDIMENTO DE CORTE

Tratamento	Tempo	Rendimento
Tp	0,07	-0,78
Fp	0,63	-0,74
Cp	-0,88	0,28
To	-0,31	0,25
Fo	0,77	-0,63
Co	0,39	-0,83
Geral	0,15	-0,25

T = controle; F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.
* Significativo a 10%.

Os coeficientes de correlação foram testados para verificar se os valores encontrados diferiam de zero, valores que ocorreriam se houvesse ausência total de correlação entre as variáveis. No presente estudo, correlação nula indica que a declividade não exerceu nenhuma influência sobre o tempo ou rendimento de corte das parcelas. Segundo GOMES (1977), há vários métodos para testar o coeficiente. Um deles consiste no teste "T", com N-2 graus de liberdade. No estudo em questão, não foi encontrado nenhum coeficiente significativo, ou seja, aceita-se a hipótese de nulidade, isto é, que os coeficientes encontrados não diferem de zero a 10 % ou, ainda, que não existe correlação entre as variáveis analisadas. A análise geral também acusou baixa correlação, e os coeficientes não foram significativos.

Do ponto de vista prático vale comentar que a topografia do local era bastante homogênea, e que as variações não foram acentuadas a ponto de interferir no tempo ou rendimento de corte. As correlações positivas para a variável "tempo" (Tabela 33) indicam que maiores valores de tempo estavam associados a maiores valores de declividade, o que é

verdadeiro, uma vez que a máquina encontra dificuldade para trabalhar em terrenos mais acidentados.

Com relação à variável “rendimento de corte”, os resultados da análise de correlação, embora estatisticamente não-significativos, mostram coerência, pois maiores valores de rendimento de corte estão associados a menores valores de declividade (correlação negativa).

Na Tabela 34 estão apresentados os coeficientes de correlação entre o rendimento de corte das árvores (em volume por unidade de tempo) e o número de árvores e o respectivo volume das parcelas.

TABELA 34 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE O RENDIMENTO DE CORTE E NÚMERO DE ÁRVORES E O RENDIMENTO E VOLUME

Tratamento	Número de árvores	Volume
Tp	-0,13	0,86
Fp	-0,42	0,91*
Cp	-0,19	0,98*
To	0,39	0,46
Fo	0,08	0,81
Co	0,64	0,78
Geral	0.07	0.84*

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

* Significativo a 10%.

Uma correlação negativa entre o rendimento de corte e o número de árvores indica que quanto maior o número de árvores menor é o rendimento. E se a correlação for positiva, o rendimento aumenta à medida que cresce o número de árvores.

Nenhum coeficiente de correlação entre o rendimento e o número de árvores foi significativo, indicando que não existe associação entre essas duas variáveis, ou seja, pode-se afirmar que o coeficiente calculado é estatisticamente igual a zero.

Conforme mencionado, a variável “volume” comporta-se de forma direta em relação ao rendimento de corte. A Tabela 34 apresenta todos os coeficientes de correlação positivos, indicando que quanto maior o volume da parcela, maior será o rendimento. Os valores absolutos dos coeficientes da variável “volume”, comparados com os da variável

“número de árvores”, são bem superiores, sugerindo maior associação daquela variável com o rendimento de corte. Outra evidência é o valor significativo dos coeficientes da queima de primavera em faixas a favor e contra o vento e do coeficiente de correlação geral.

Portanto, em se tratando do aumento de rendimento de corte, a limpeza promovida pela queima não teve nenhum efeito. Não se avaliou, por outro lado, por fugir dos objetivos iniciais propostos, outras consequências que a queima produziu, por exemplo, o aspecto relacionado com a redução de impurezas transportadas juntamente com a madeira. Observações práticas têm mostrado que grande volume de material indesejável é transportado junto com a madeira, quando não é feita a pré-limpeza da área, trazendo problemas de manuseio do material rejeitado no pátio da fábrica.

Um aspecto negativo do uso do fogo, observado na presente pesquisa, e que poderá ser analisado mais detalhadamente em outros estudos, é com respeito ao uso da madeira carbonizada na produção de celulose e papel. A princípio, plantações que sofreram incêndios são descartadas para este uso, mas a queima controlada tem efeitos menos drásticos, pois está associada à técnica de queima, época e idade da plantação.

A limpeza promovida pela queima talvez tivesse alguma influência no rendimento se o corte das árvores fosse efetuado com motosserra, pois facilitaria a locomoção do operador. Em se tratando de corte com o *feller buncher*, a vantagem prática, segundo o operador da máquina, foi apenas a maior visibilidade da base da árvore. Por outro lado, as cinzas provenientes da queima trouxe incômodo ao operador e suspeita-se do entupimento mais rápido do filtro de ar da máquina. Esses problemas poderiam ser minimizados, fazendo-se a queima com maior antecedência em relação à época de corte.

Outro problema que também merece atenção, no caso do uso do fogo para limpeza, é quanto ao desgaste do elemento cortante da máquina (faca, tesoura, disco ou sabre), devido à carbonização do tronco, pois é exatamente a base do tronco que fica mais carbonizada, por causa do acúmulo de material combustível proveniente das cascas que se soltam dos troncos e da desrama dos galhos.

CONCLUSÕES

A avaliação dos efeitos do fogo é um trabalho que envolve diversas áreas do conhecimento. Em primeiro lugar, tem-se a caracterização do material combustível em todos os aspectos: procedimento de amostragem (tanto para material vivo quanto morto), classificação quanto às características físicas, composição química e avaliação do teor de umidade. Em segundo lugar está a avaliação dos parâmetros do comportamento do fogo como intensidade de queima, energia liberada por unidade de área, altura das chamas, altura de carbonização e de crestamento, velocidade de propagação e técnica de queima. Muitos desses parâmetros somente podem ser obtidos por meio de estimativas e isso dificulta ainda mais a interpretação de resultados, principalmente quando se deseja comparar dados de estudos diferentes.

Com base nos procedimentos utilizados e nos resultados encontrados no presente trabalho pode-se concluir que:

- 1) um procedimento prático e preciso deve ser desenvolvido, para se fazer o inventário do material combustível, em substituição ao método de coleta e pesagem (método destrutivo), em povoamentos de eucalipto com alta densidade de sub-bosque;
- 2) a incineração em mufla é um procedimento necessário quando o método de coleta e pesagem de material combustível é utilizado, principalmente para o material que está em contato com solo mineral;
- 3) o fogo atuou de maneira uniforme em todas as classes de material combustível, ou seja os percentuais da composição mantiveram-se praticamente os mesmos verificados no inventário inicial;
- 4) a queima em faixas a favor do vento teve um consumo médio, estatisticamente significativo, de $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$ a mais que a queima contra o vento, na primavera; no outono, a diferença de consumo entre as técnicas de queima não foi significativa;
- 5) a classe denominada C-1MD, referente ao material combustível em decomposição, foi a que sofreu menos com a ação do fogo; com exceção da queima em faixas a favor do vento de primavera, as quantidades de material combustível antes e depois da queima não

apresentaram diferença estatística significativa, quando se comparou a classe C-1MD antes com a C-1 depois da queima;

- 6) a redução média geral da quantidade de material combustível foi de 56 %; sendo que para a queima em faixas a favor do vento, nas duas épocas de queima, foi de 57,5 % e de 54,7 e 55,5 % para a queima contra o vento de primavera e outono, respectivamente, não resultando em diferença estatística significativa.
- 7) a espessura da camada de material combustível em decomposição (C-1MD) sofreu redução média geral de 32 %, sendo que nem a técnica, nem a época de queima tiveram influência significativa;
- 8) as médias de poder calorífico efetivo entre as classes seguiu a ordem: C-1MF > C1-MV > C-2 > C-1MD e as de poder calorífico real: C-1MF > C-2 > C-1MD > C-1MV, demonstrando que a umidade do material combustível é fundamental no processo de combustão, porém este último não apresentou diferença significativa entre as classes;
- 9) a quantidade de calor liberada por unidade de área (Ha) foi estatisticamente igual entre as técnicas e épocas de queima; a intensidade da linha de fogo (I) foi, em média, 4,4 vezes maior para a queima em faixas a favor do vento, em relação à queima contra o vento, sendo estatisticamente diferentes;
- 10) a altura de carbonização demonstrou ser uma variável com potencialidades para explicar o comportamento e os efeitos do fogo, por ser de medição direta no campo e se correlacionar significativamente com a altura de crestamento, quantidade de material combustível, velocidade de propagação do fogo e intensidade da linha de fogo, sem, contudo, apresentar diferença estatística entre os tratamentos;
- 11) os tratamentos de queima controlada não afetaram o rendimento de corte das árvores das parcelas do experimento;
- 12) a queima de primavera não afetou significativamente as propriedades químicas do solo, enquanto a de outono acusou variação significativa nos elementos $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, $\text{H} + \text{Al}$, m e pH;
- 13) ao longo do meses de coleta o teor de carbono do solo foi o único elemento que apresentou variação significativa para a queima de primavera (queima em faixas a favor do vento); para a queima de outono os seguintes elementos apresentaram variação estatisticamente significativa em função da queima: pH, $\text{H} + \text{Al}$, C, CTC e m para o controle;

- pH, H+Al, C, CTC e $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ para a queima em faixas a favor do vento; e pH e CTC para a queima contra o vento;
- 14) as técnicas de queima não influenciaram nem o número de cepas brotadas nem a altura de brotação dentro de uma mesma época de queima; a altura das brotações foi maior para a queima realizada na primavera, enquanto o número de cepas brotadas foi maior para a queima realizada no outono, mostrando que o clima, possivelmente, tenha exercido alguma interferência;
- 15) os teores de nutrientes das folhas das brotações não apresentaram diferenças significativas entre as técnicas de queima tanto dentro de uma época de queima quanto para as duas épocas analisadas conjuntamente;
- 16) a análise de tecido, realizada antes e depois da queima, mostrou diminuição significativa do K, nas queimas em faixas a favor do vento e contra o vento de primavera e de outono, e aumento na concentração de Ca, com exceção da queima contra o vento de outono; para o N houve redução significativa apenas para a queima em faixas a favor do vento de primavera; para o P redução significativa apenas para a queima contra o vento de outono e para o Mg aumento significativo apenas para a queima contra o vento de primavera;
- 17) apesar da intensidade do fogo ter apresentado diferença estatística significativa entre as técnicas de queima, a maioria dos parâmetros analisados entre elas não apresentou diferença porque, somente em condições extremas de queima, as variações se manifestam. Os resultados encontrados estão de acordo com os preceitos da queima controlada e mostraram a viabilidade do emprego desta técnica.

ANEXOS

ANEXO A

TABELA 1A - VOLUME DA ÁRVORE-MODELO POR PARCELA, VOLUME PARCIAL COM BASE NA ÁRVORE-MODELO E NAS MEDIÇÕES PARA AS DUAS ÉPOCAS DE QUEIMA E NÚMERO DE ÁRVORES MEDIDAS E NÃO-MEDIDAS

Parcela-tratam.	árv.-não medidas	árv. medidas	N. total árvores	Vol. da árv.- modelo	Vol. parcial árv.- modelo	Vol. baseado nas medições	Volume total da parcela
Q u e i m a d e i n v e r n o							
	(a)	(b)			(c)	(d)	(e)
A-5-Tp	89	96	185	0,2512	24,1121	24,1914	46,5453
B-7-Tp	125	110	235	0,2040	22,4450	22,5023	48,0079
C-5-Tp	114	100	214	0,2360	23,5975	23,8896	50,7908
D-2-Tp	117	117	234	0,1940	22,7005	22,8876	45,5882
Tot./méd	445	423	868	0,2213	23,2138	23,3677	47,7331
A-6-Fp	104	110	214	0,1668	18,3481	18,4032	35,7505
B-3-Fp	119	124	243	0,1799	22,3105	22,3719	43,7827
C-6-Fp	105	104	209	0,2210	22,9834	23,1861	46,3904
D-6-Fp	145	118	263	0,1448	17,0847	17,1524	38,1464
Tot./méd	473	456	929	0,1781	20,1817	20,2784	41,0175
A-7-Cp	127	118	245	0,1757	20,7320	20,9932	43,3065
B-1-Cp	93	104	197	0,2074	21,5706	21,4840	40,7731
C-2-Cp	120	114	234	0,1633	18,6124	18,4966	38,0885
D-4-Cp	108	111	219	0,2123	23,5604	23,6580	46,5816
Tot./méd	448	447	895	0,1897	21,1188	21,1579	42,1874
Q u e i m a d e v e r ã o							
A-3-To	114	117	231	0,2122	24,8297	24,9094	49,1024
B-4-To	103	94	197	0,2180	20,4957	20,5660	43,0241
C-4-To	124	126	250	0,2065	26,0223	26,1239	51,7331
D-3-To	111	97	208	0,1983	19,2307	19,3042	41,3104
Tot./méd	452	434	886	0,2088	22,6446	22,7259	46,2925
A-4-Fo	127	133	260	0,2099	27,9104	28,0123	54,6636
B-2-Fo	106	98	204	0,1814	17,7759	17,8508	37,0778
C-7-Fo	122	115	237	0,2484	28,5700	28,6542	58,9632
D-1-Fo	114	108	222	0,2600	28,0757	28,1677	57,8031
Tot./méd	469	454	923	0,2249	25,5830	25,6712	52,1269
A-1-Co	99	107	206	0,2404	25,7225	25,7971	49,5964
B-6-Co	114	118	232	0,2098	24,7554	24,0333	47,9495
C-3-Co	115	115	230	0,1595	18,3405	18,4340	36,7745
D-5-Co	125	135	260	0,2089	28,1999	28,2894	54,4005
Tot./méd	453	475	928	0,2046	24,2546	24,1384	47,1802

$$e = ((a * c) / b) + d$$

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

ANEXO B

TABELA 1B - VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA ÁRVORE-MODELO DA PARCELA

Parcela: A-5				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	24	7,72	10,4	0,5042
12,5	24	12,68	15,9	2,0690
17,5	18	17,64	19,9	3,7731
22,5	14	22,67	23,0	5,5975
27,5	11	27,13	25,2	6,8845
32,5	4	32,60	27,3	3,9168
37,5	1	37,50	28,8	1,3670
	96		21,5	24,1121

Parcela: B-1				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	27	7,94	10,7	0,6149
12,5	31	12,27	15,5	2,4400
17,5	18	17,07	19,5	3,4580
22,5	15	22,87	23,1	6,1300
27,5	11	26,89	25,1	6,7368
32,5	2	34,16	27,8	2,1909
	104		20,3	21,5706

Parcela: A-6				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	40	7,22	9,8	0,6909
12,5	33	12,61	15,8	2,8006
17,5	11	17,10	19,5	2,1237
22,5	18	22,11	22,7	6,7531
27,5	7	27,72	25,4	4,6214
32,5	1	37,40	28,8	1,3584
	110		20,3	18,3481

Parcela: B-3				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	41	7,36	10,0	0,7481
12,5	32	12,47	15,7	2,6369
17,5	27	17,37	19,7	5,4303
22,5	12	22,03	22,7	4,4592
27,5	6	27,23	25,2	3,7882
32,5	6	31,11	26,8	5,2479
	124		20,0	22,3105

Parcela: A-7				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	39	7,18	9,7	0,6620
12,5	36	12,68	15,9	3,1050
17,5	18	17,45	19,8	3,6635
22,5	14	23,05	23,2	5,8350
27,5	10	27,45	25,3	6,4437
32,5	1	33,20	27,5	1,0228
	118		20,2	20,7320

Parcela: B-7				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	31	7,87	10,6	0,6884
12,5	32	11,97	15,2	2,3531
17,5	23	17,76	20,0	4,9029
22,5	14	22,65	23,0	5,5818
27,5	4	28,04	25,6	2,7143
32,5	6	33,35	27,5	6,2044
	110		20,3	22,4450

f = frequência da classe; q = diâmetro médio da classe; h = altura estimada

Continua ...

TABELA 1B, Cont.

Parcela: C-2				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	43	7,59	10,3	0,8577
12,5	28	12,53	15,7	2,3373
17,5	20	16,78	19,3	3,6736
22,5	15	22,28	22,8	5,7363
27,5	6	27,48	25,3	3,8748
32,5	2	33,78	27,7	2,1326
	114		20,2	18,6124

Parcela: D-2				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	37	7,69	10,4	0,7673
12,5	39	12,70	15,9	3,3804
17,5	15	17,52	19,8	3,0876
22,5	15	22,82	23,1	6,0952
27,5	6	27,36	25,3	3,8345
32,5	3	33,17	27,5	3,0616
37,5	2	35,95	28,3	2,4739
	117		20,0	22,7005

Parcela: C-5				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	19	8,10	10,9	0,4583
12,5	26	12,62	15,8	2,2123
17,5	30	17,58	19,9	6,2237
22,5	8	21,70	22,5	2,8619
27,5	13	27,17	25,2	8,1642
32,5	4	31,76	27,0	3,6772
	100		20,2	23,5975

Parcela: D-4				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	35	7,53	10,2	0,6821
12,5	28	12,79	16,0	2,4725
17,5	18	17,07	19,5	3,4573
22,5	14	22,88	23,1	5,7258
27,5	13	27,75	25,4	8,6007
32,5	3	31,10	26,8	2,6221
	111		20,2	23,5604

Parcela: C-6				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	27	7,82	10,6	0,5894
12,5	27	12,23	15,4	2,1056
17,5	19	16,94	19,4	3,5753
22,5	15	21,80	22,5	5,4262
27,5	13	27,23	25,2	8,2100
32,5	3	33,24	27,5	3,0768
	104		20,1	22,9834

Parcela: D-6				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	50	7,93	10,7	1,1347
12,5	31	12,18	15,4	2,3945
17,5	18	17,30	19,7	3,5829
22,5	12	22,83	23,1	4,8800
27,5	5	27,30	25,3	3,1788
32,5	2	32,29	27,2	1,9137
	118		20,2	17,0847

f = frequência da classe; q = diâmetro médio da classe; h = altura estimada

Continua ...

TABELA 1B, Cont.

Parcela: A-1				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	4	4,66	6,3	0,0185
7,5	26	7,32	9,9	0,4673
12,5	30	12,28	15,5	2,3676
17,5	20	17,94	20,1	4,3772
22,5	13	22,63	23,0	5,1743
27,5	6	27,79	25,5	3,9830
32,5	5	32,31	27,2	4,7911
37,5	3	39,17	29,2	4,5434
	107		17,6	25,7225

Parcela: B-2				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	3	4,67	6,3	0,0140
7,5	25	7,45	10,1	0,4731
12,5	32	12,62	15,8	2,7223
17,5	15	16,84	19,4	2,7811
22,5	17	22,66	23,0	6,7905
27,5	4	27,97	25,5	2,6988
32,5	1	31,90	27,0	0,9291
37,5	1	37,50	28,8	1,3670
	98		17,4	17,7759

Parcela: A-3				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	2	4,62	6,2	0,0090
7,5	31	7,95	10,7	0,7084
12,5	28	12,64	15,8	2,3911
17,5	26	17,72	20,0	5,5090
22,5	16	22,53	23,0	6,2957
27,5	10	26,59	24,9	5,9555
32,5	3	31,58	26,9	2,7200
37,5	1	36,00	28,4	1,2410
	117		17,4	24,8297

Parcela: B-4				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	2	4,26	5,7	0,0070
7,5	19	7,93	10,7	0,4320
12,5	37	12,67	15,9	3,1836
17,5	14	16,89	19,4	2,6142
22,5	9	22,13	22,7	3,3855
27,5	7	27,74	25,4	4,6291
32,5	4	32,15	27,1	3,7867
37,5	2	35,85	28,3	2,4577
	94		17,4	20,4957

Parcela: A-4				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	4	4,39	5,9	0,0154
7,5	37	7,72	10,4	0,7781
12,5	37	12,08	15,3	2,7874
17,5	20	17,48	19,8	4,0919
22,5	20	22,39	22,9	7,7465
27,5	10	27,55	25,4	6,4999
32,5	2	33,35	27,5	2,0683
37,5	3	36,80	28,6	3,9230
	133		17,4	27,9104

Parcela: B-6				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	2	4,85	6,6	0,0104
7,5	36	7,92	10,7	0,8148
12,5	38	7,79	10,5	0,8189
17,5	34	12,45	15,7	2,7903
22,5	20	17,80	20,0	4,2909
27,5	11	23,20	23,3	4,6601
32,5	10	27,04	25,1	6,2074
37,5	5	33,33	27,5	5,1625
	156		15,3	24,7554

f = frequência da classe; q = diâmetro médio da classe; h = altura estimada

Continua ...

TABELA 1B, Cont.

Parcela: C-3				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	3	4,61	6,2	0,0134
7,5	37	7,69	10,4	0,7693
12,5	34	12,63	15,8	2,8984
17,5	22	17,72	20,0	4,6623
22,5	13	22,53	23,0	5,1144
27,5	3	27,44	25,3	1,9315
32,5	2	30,45	26,5	1,6606
37,5	1	36,60	28,5	1,2906
	115		17,4	18,3405

Parcela: D-1				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	1	4,30	5,8	0,0036
7,5	19	7,68	10,4	0,3935
12,5	31	12,70	15,9	2,6845
17,5	21	17,32	19,7	4,1904
22,5	20	22,63	23,0	7,9620
27,5	12	27,60	25,4	7,8340
32,5	2	34,25	27,8	2,2043
37,5	2	37,90	28,9	2,8034
	108		17,6	28,0757

Parcela: C-4				
Centro Clas	f	q	h	Volume
7,5	33	7,82	10,6	0,7190
12,5	32	12,47	15,7	2,6380
17,5	30	17,32	19,7	5,9854
22,5	18	22,60	23,0	7,1424
27,5	8	26,67	25,0	4,7982
32,5	5	32,17	27,1	4,7394
	126		20,2	26,0223

Parcela: D-3				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	5	4,67	6,3	0,0232
7,5	35	7,71	10,4	0,7320
12,5	21	12,22	15,4	1,6349
17,5	15	17,43	19,8	3,0453
22,5	9	23,12	23,3	3,7816
27,5	5	26,54	24,9	2,9647
32,5	5	31,31	26,8	4,4390
37,5	2	36,77	28,6	2,6099
	97		17,4	19,2307

Parcela: C-7				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	1	4,20	5,7	0,0034
7,5	31	7,82	10,6	0,6765
12,5	25	12,51	15,7	2,0769
17,5	21	17,09	19,5	4,0463
22,5	20	22,86	23,1	8,1606
27,5	11	26,94	25,1	6,7692
32,5	2	31,21	26,8	1,7619
37,5	4	36,34	28,5	5,0752
	115		19,4	28,5700

Parcela: D-5				
Centro Clas	f	q	h	Volume
2,5	6	4,49	6,1	0,0248
7,5	36	7,94	10,7	0,8213
12,5	35	12,81	16,0	3,1031
17,5	24	17,54	19,9	4,9553
22,5	16	22,04	22,7	5,9512
27,5	15	27,51	25,3	9,7120
32,5	1	33,00	27,4	1,0081
37,5	2	36,86	28,6	2,6242
	135		19,6	28,1999

f = frequência da classe; q = diâmetro médio da classe; h = altura estimada

ANEXO C

TABELA 1C - DECLIVIDADE DAS PARCELAS POR VISADA E DECLIVIDADE MÉDIA

Parcela por tratamento	Visadas				Declividade média
	1	2	3	4	
A-5-Tp	0	4	4	10	3,0
B-7-Tp	0	2	5	3	2,5
C-5-Tp	0	5	0	4	0,9
D-2-Tp	3	7	5	6	4,5
A-6-Fp	5	1	0	1	2,2
B-3-Fp	4	2	1	3	2,5
C-6-Fp	1	5	0	4	1,3
D-6-Fp	6	6	6	6	6,0
A-7-Cp	1	2	3	4	2,2
B-1-Cp	2	5	3	9	3,4
C-2-Cp	3	1	3	3	2,8
D-4-Cp	2	7	3	6	3,3
A-3-To	0	1	5	2	2,3
B-4-To	1	1	1	6	1,5
C-4-To	1	8	1	5	2,1
D-3-To	4	7	0	5	2,8
A-4-Fo	2	2	6	8	4,2
B-2-Fo	2	7	4	1	3,2
C-7-Fo	2	5	2	2	2,3
D-1-Fo	2	6	3	4	3,0
A-1-Co	1	3	7	6	4,1
B-6-Co	5	2	1	8	3,4
C-3-Co	6	1	1	9	3,8
D-5-Co	4	5	2	5	3,4

F = queima em faixas a favor do vento; C = queima contra o vento; p = primavera; o = outono.

ANEXO D

TABELA 1D - VALORES MÉDIOS DOS NUTRIENTES POR CLASSE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E TRATAMENTO, EM %

Queima de primavera						Queima de outono					
Testemunha						Testemunha					
Classe	N	P	K	Ca	Mg	Classe	N	P	K	Ca	Mg
C-1SP	0,77	0,05	0,13	0,70	0,09	C-1SP	0,58	0,05	0,13	0,65	0,08
C-1MV	1,28	0,08	0,77	0,36	0,09	C-1MV	1,19	0,07	0,73	0,33	0,07
C-1MC	1,05	0,06	0,12	0,51	0,07	C-1MC	1,00	0,05	0,12	0,40	0,06
C-2	0,26	0,02	0,08	0,41	0,07	C-2	0,21	0,02	0,06	0,31	0,06

A favor do vento						A favor do vento					
Classe	N	P	K	Ca	Mg	Classe	N	P	K	Ca	Mg
C-1SP	0,69	0,05	0,15	0,63	0,08	C-1SP	0,65	0,05	0,11	0,63	0,07
C-1MV	1,35	0,08	0,69	0,38	0,08	C-1MV	1,35	0,08	0,70	0,32	0,08
C-1MC	1,09	0,06	0,12	0,43	0,07	C-1MC	1,07	0,05	0,11	0,34	0,07
C-2	0,21	0,02	0,06	0,29	0,06	C-2	0,21	0,02	0,06	0,32	0,07

Contra o vento						Contra o vento					
Classe	N	P	K	Ca	Mg	Classe	N	P	K	Ca	Mg
C-1SP	0,68	0,04	0,14	0,64	0,08	C-1SP	0,83	0,06	0,14	0,70	0,09
C-1MV	1,20	0,08	0,64	0,37	0,08	C-1MV	1,23	0,08	0,83	0,47	0,09
C-1MC	0,91	0,06	0,12	0,56	0,07	C-1MC	0,94	0,06	0,13	0,44	0,07
C-2	0,22	0,02	0,07	0,31	0,07	C-2	0,29	0,02	0,08	0,39	0,08

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLGREN, I.F.; AHLGREN, C.E. Ecological effects of forest fires. **Botanical Review**, v. 26, p. 483-533, 1960.
- ANDRADE, A.M. de. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. Viçosa, 1993. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 105p.
- ANDRADE, L. **Balanço hídrico para o município de Três Barras, Santa Catarina**, 1990. 16 p. (Memorando Técnico, nº 2).
- ARAÚJO, Q.R. **Ação da queima e da percolação sobre a dinâmica de propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo, variação UNA**. Viçosa, 1992. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 79 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas Técnicas NBR 8633**. Brasília, 1983. n.p.
- BALLONI, E.A. Fertilização florestal. **IPEF**. Piracicaba, v. 6, n. 16, p. 1-34, 1978.
- BARROS, N.F.; PEREIRA, A.R.; BORBA, M. de. Liberação de nutrientes minerais pela queima de leiras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 84-89, 1982.
- BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná**. Curitiba, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 108 p.
- BATISTA, A.C.; LIMA, G.S.; SOARES, R.V. Altura da carbonização da casca das árvores como estimador da intensidade do fogo em queima controlada. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (1^o e 7^o : 1993 : Curitiba). **Anais ...** Curitiba : Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p. 169-171.
- BEAUFIT, W.R.; HARDY, C.E.; FISCHER, W.C. **Broadcast burning in larch-fir clearcuts: The Miller Creek-Newman Ridge Study**. Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1975. 53 p. (Research Paper, INT-175).
- BOYER, W.D. **Growing-season burns for control of hardwoods in longleaf pine stands**. New Orleans : Southern Forest Experiment Station, 1990. 7 p. (Research Paper, SO-256).
- BRINKMAN, W.L.F.; VIEIRA, A.N. The effect of burning on germination of seeds and different soil depths of various tropical tree species. **Turrialba**, San Jose, v. 21, p.77-82, 1971.
- BRITO, J.O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, São Paulo, v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

- BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. **Forest fire; control and use**. 2 ed. New York : McGraw-Hill Book Company, 1973. 686p.
- BROWN, J.K. **Handbook for inventorying downed woody material**. Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1974. p. 1-24. (General Technical Report, INT-16)
- BROWN, J.K.; DEBYLE, N.V. **Effects of prescribed fire on biomass and plant succession in Western aspen**. Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1989. 16 p. (Research Paper, INT-412).
- BROWN, J.K.; DEBYLE, N.V. Fire damage, mortality, and suckering in aspen. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 17, n. 9, p. 1100-1109, 1987.
- BROWN, J.K.; OBERHEU, R.D.; JOHNSTON, C.M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West**, Ogden, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1982. p.1-22. (General Technical Report, INT-129).
- BROWN, J.K.; REINHARDT, E.D.; FISCHER, W.C. Predicting duff and woody fuel consumption in Northern Idaho prescribed fires. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 6, p. 1550-1566, 1991.
- BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. New York : John Wiley & Sons, 1963. 689 p.
- BUCHANAN, M.A. Extraneous Components of Wood. In: BROWNING, B.L. **The Chemistry of Wood**. New York : Interscience Publishers, 1963. p. 315-367.
- BYRAM, G.M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P. **Forest fire - control and use**. New York : Mc Graw Hill, 1959. p. 77-84.
- CAIN, M.D. Height of stem-bark char underestimates flame length in prescribed burns. **Fire Management Notes**, Washington, v. 45, n. 1, p. 17-21, 1984.
- CANADIAN FORESTRY SERVICE. **Forest fire control in Canada**. Ottawa : Environment Canada, 1975. 32 p. (Information Canada Cat. n. F061-3).
- CÁRCAMO ROMERO, J.C. **Avaliação econômica de danos a áreas reflorestadas com eucalipto, no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, 1985. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 200 p.
- CASTRO NEVES, B.M.; MIRANDA, H.S. Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de cerrado. In: **IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília)**. **Anais ... Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília**, 1996. p. 20-30.
- CONARD, S.G.; WOHLGEMUTH, P.M.; KERTIS, J.A.; WELLS II, W.G.; BARRO, S.C. Postfire erosion and vegetation development in chaparral as influenced by emergency revegetation - A study in progress. In: **SYMPOSIUM ON FIRE AND WATERSHED MANAGEMENT (1988 : Sacramento)**. **Proceedings ... Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station**. 1989. p. 150.

- COSTA, L.M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. (ed.) **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa : Folha de Viçosa, 1990. p. 237-264.
- COSTA, L.M.; CARMO, D.N. do. Aspecto de manejo de solos em áreas de reflorestamento no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FLORESTAS PLANTADAS NOS NEOTRÓPICOS COMO FONTE DE ENERGIA (1983 : Viçosa). **Anais...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 1983. p. 118-132.
- COUNTRYMAN, C.M. **Mass fire and fire behavior**. Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1964. 51 p. (Research Paper, PSW-19).
- COUNTRYMAN, C.M. **The nature of heat**. Portland : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1977. 11 p.
- COUTINHO, L.M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 10, n. 44, p. 7-23, 1980.
- COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. **Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin : Springer-Verlag, 1990. p. 82-105. (Ecological Studies 84).
- CRANE, W.J.B. Fire in the Australian environment. In: FIRE IN THE ENVIRONMENT SYMPOSIUM (1972 : Denver). **Proceedings ...** Denver, USDA Forest Service, 1972. 151 p.
- CROW, P.; LUCAS, E.B. Fuel characteristics of selected four-year-old trees in Nigeria. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 20, n.4, p. 431-437, 1988.
- DE BANO, L.F.; DUNN, P.H.; CONRAD, C.E. **Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils**. USDA Forest Service, 1977. p. 65-74. (General Technical Report, WO-3).
- DE BANO, L.F.; RICE, R.M.; CONRAD, C.E. **Soil heating in chaparral fires: effects on soil properties, plant nutrients, erosion, and runoff**. Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1979. 21 p. (Research Paper, PSW-145).
- EMBRAPA. **Manual de análise de solo**. Rio de Janeiro : Ministério da Agricultura, 1979.
- FASSBENDER, H.W. Experimentos de laboratorio para el estudio del efecto del fuego de la quema de restos vegetales sobre las propiedades del suelo. **Turrialba**, San Jose, v. 25, n. 3, p. 249-254, 1975.
- FINNEY, M.A.; MARTIN, R.E. Fuel loading, bulk density, and depth of forest floor in coast redwood stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 617-622, 1993.
- FOSBERG, M.A. Drying rates of heartwood below fiber saturation. **Forest Science**, Bethesda, v. 16, n. 1, p. 57-63, 1970.
- GAIDULA, P. Training in support of park and wilderness fire management programs. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON WILDERNESS FIRE (1983 : Missoula). **Proceedings ...** Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1985. p. 220-224.

- Proceedings ...** Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1985. p. 220-224.
- GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F.A. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 17-38, 1970.
- GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 7ª ed. Piracicaba : Livraria Nobel, 1977. 430 p.
- GOULD, J.S. Evaluation of McArthur's control burning guide in regrowth *Eucalyptus sieberi* forest. **Australian Forestry**, Canberra, v. 57, n. 2, p. 90-92, 1994.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1973. 248 p.
- GROHMANN, F. Estrutura. In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**, Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 101-110.
- HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; OLIVEIRA, G.D.; POGGIANI, F.; FERREIRA, C.A. Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos. **IPEF**, Piracicaba, v. 13, p. 99-116, 1976.
- HALL, J.B.; SWAINE, M.D. Seed stocks in ghanaian forest soils. **Biotropica**, New Orleans, v. 12, p. 56-263, 1980.
- HAMILTON, S.D.; LAWRIE, A.C.; HOPMANS, P.; LEONARD, P.V. Effects of fuel-reduction burning on a *Eucalyptus obliqua* forest ecosystem in Victoria. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 39, n. 3, p. 203-217, 1991.
- HAO, W.M.; LIU, M.H.; CRUTZEN, P.J. Estimates of annual and regional releases of CO₂ and other traces gases to the atmosphere from fires in the tropics, based on the FAO statistics for the period 1975-1980. In: GOLDAMMER, J.G. **Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin : Springer-Verlag, 1990. p. 440-462. (Ecological Studies 84).
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil agregation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 18, p.107-169, 1966.
- HATTON, T.J.; VINEY, N.R.; CATCHPOLE, E.A.; MESTRE, N.J. The influence of soil moisture on *Eucalyptus* leaf litter moisture. **Forest Science**, Bethesda, v. 34, p. 292-301, 1988.
- HELVEY, J.D. Effects of a North Central Washington wildfire on runoff and sediment production. **Water Resource Bulletin**, Denver, v. 16, n. 4, p. 627-634, 1980.
- HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solo e de plantas**. Curitiba : UFPR, 1976. (mimeografado).
- HOWARD, J.O. **Wood for energy in the Pacific Northwest: an overview**. Washington : Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1979. 20 p. (General Technical Report, PNW-94).

- HUNTLEY, J.C.; MCGEE, C.E. Impact of fire on regeneration and wildlife habitat in upland Hardwoods. In: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. AMERICA'S HARDWOOD FORESTS - OPPORTUNITIES UNLIMITED (1982 : Cincinnati, Ohio). **Proceedings ...** Cincinnati : Southern Forest Experiment Station, 1982. p. 158-162.
- IDE, B.Y.; ALTHOFF, D. A.; THOMÉ, V. M. R.; VIZZOTTO, V. J. **Zoneamento Agroclimático do Estado de Santa Catarina; 2ª etapa.** Florianópolis : DID/EMPASC, 1980. 106 p.
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing. A remote sensing perspective.** New Jersey : Prentice Hall, 1986. 377 p.
- JOHNSON, Von J. The dilemma of flame length and intensity. **Fire Management Notes**, Washington, v. 43, n. 4, p. 3-7, 1982.
- JURGENSEN, M.F.; HARVEY, A.E.; LARSEN, M.J. **Effects of prescribed fire on soil nitrogen levels in a cutover Douglas-fir/western larch forest.** Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1981. 6 p. (Research Paper, INT-275).
- KARTAWINATA, K.; RISWAN, S.; SOEDJITO, H. The floristic change after disturbances in lowland dipterocarp forest in East Kalimantan, Indonesia. In: TROPICAL ECOLOGY AND DEVELOPMENT (1980 : Kalimantan). **Proceedings...** Kalimantan : International Society of Tropical Ecology, 1980. p. 47-54.
- KAUTZ, E.W. Prescribed fire in blueberry management. **Fire Management Notes**, Washington, v. 48, n. 3, p. 9-12, 1987.
- KIE, J.G. **Deer habitat use after prescribed burning in Northern California.** Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1984. 3 p. (Research Note, PSW-369).
- KIMMINS, J.P. **Forest Ecology.** New York : Mac Millans, 1987.
- KOZOVITS, A.R.; BUSTAMANTE, M.M.; SILVA, L.F.; DUARTE, G.F.; CASTRO, A.A.; MAGALHÃES, J.R. Nitrato de amônio no solo e sua assimilação por espécies lenhosas em uma área de cerrado submetida a queimadas prescritas. In: IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília). **Anais ...** Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 1996. p. 137-147.
- LONSDALE, W.M.; BRAITHWAITE, R.W. Assessing the effects of fire on vegetation in tropical savannas. **Australian Journal of Ecology**, Winnellie, v. 16, n. 3, p. 363-374, 1991.
- LUKE, R.H.; McARTHUR, A.G. **Bushfires in Australia.** Canberra : AGPS, Commonwealth of Australia, 1977. 359 p.
- LYON, L.J.; GRAWFORD, H.S.; CZUHAI, E. **Effects of fire on fauna: a state-of-knowledge review.** Washington : USDA Forest Service, 1978. 41 p. (General Technical Report, WO-6).
- MAGGS, J. Organic matter and nutrients in the forest floor of a *Pinus elliottii* plantation and some effects of prescribed burning and superphosphate addition. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 23, p. 105-119, 1988.

- MARTIN, R.E.; COOPER, R.W.; CROW, A.B.; CUMING, J.A.; PHILLIPS, C.B. Report of task force on prescribed burning. *Journal of Forestry*, Bethesda, v. 75, n. 5, p. 297-301, 1977.
- McARTHUR, A.G. **Control burning in eucalypt forest**. Canberra : Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962. 31 p. (Leaflet nº 80).
- McARTHUR, A.G.; CHENEY, N.P. The characterization of fire in relation to ecological studies. *Australian Forest Research*, Melbourne, v. 2, n. 3, p. 36-45, 1966.
- MIRANDA, H.S.; ROCHA E SILVA, E.P.; MIRANDA, A.C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília). *Anais ... Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília*, 1996. p 1-10.
- MIRANDA, M.I.; KLINK, C.A. Influência do fogo na alocação de biomassa de *Echinolaena inflexa* em duas áreas de campo sujo de cerrado. In: IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília). *Anais ... Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília*, 1996. p. 37-45.
- MOREIRA, A.G. Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de cinco fisionomias de cerrado. In: IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília). *Anais ... Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília*, 1996. p. 112-121.
- NAVES, M.A. Efeito do fogo na população de formigas (Hymenoptera - Formicidae) em cerrado do Distrito Federal. In: IMPACTOS DE QUEIMADAS EM ÁREAS DE CERRADO E RESTINGA (1996 : Brasília). *Anais ... Brasília : Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília*, 1996. p. 170-177.
- NELSON Jr., R.M.; ADKINS, C.W. Flame characteristics of wind-driven surface fires. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v. 16, n. 6, p. 1293-1300, 1986.
- NEUMANN, F.G. and TOLHURST, K. Effects of fuel reduction on burning on epigeal arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria. *Australian Journal of Ecology*, Carlton, v. 16, n. 3, p. 315-330, 1991.
- PACHECO, M.R.P.S.; HELENE, M.E.M. **Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂**. São Paulo : Universidade de São Paulo, 1990. p. 204-220. (Projeto Floram).
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 15, n. 1-2, p. 8-16, 1984.
- PEREIRA, A.R.; BRANDI, R.M.; SOUZA, A.L.; REZENDE, G.S. **Uso do fogo controlado como prática de limpeza dos cepos em brotações de eucaliptos**. Viçosa : Sociedade de Investigações Florestais, 1980c, p. 6-11. (Boletim Técnico, n. 10).
- PEREIRA, A.R.; PAULA NETO, F.; RAMALHO, L.R. **Determinação do número ótimo de brotos em brotações de *Eucalyptus* spp.** Viçosa : Sociedade de Investigações Florestais, 1980a. p. 1-5. (Boletim Técnico, n. 1).

- PEREIRA, A.R.; REGAZZI, A.J.; RIBEIRO, J.C.; RAMALHO, L.R. Efeito do diâmetro das cepas no desenvolvimento de brotações de *Eucalyptus* spp. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 215-220, 1980b.
- POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems. Silvicultural implications. IPEF, Piracicaba, n. 31, p. 33-40, 1985.
- POGGIANI, F.; REZENDE, G.C.; SUITER FILHO, W. Efeitos do fogo na brotação e crescimento de *Eucalyptus grandis*, após o corte raso e alterações nas propriedades do solo. Piracicaba : IPEF, 1983, p. 33-42. (Boletim Informativo, n. 24).
- POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO Jr., E.; GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. IPEF, Piracicaba, n. 37, p. 21-29, 1987.
- POTTS, D.F.; PETERSON, D.L.; ZUURING, H.R. **Estimating postfire water production in the Pacific Northwest**. Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1989. 9 p. (Research Paper, PSW-197).
- PYNE, S.J. **Introduction to Wildland Fire. Fire Management in the United States**. New York : John Wiley & Sons, 1984. 455 p.
- REGO, F.; BOTELHO, H. O uso do fogo controlado na prevenção de incêndios florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE A FLORESTA E O ORDENAMENTO DO ESPAÇO DE MONTANHA (1988 : Vila Real). *Anais ...* Vila Real : Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1988. p.181-192.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. (ed.) **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa : Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- REZENDE, J.P.; PAULA JÚNIOR, G.G.; RIBEIRO, G.A. Técnicas de análises econômicas usadas nas tomadas de decisões referentes à reforma de eucaliptais. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS (1987 : Belo Horizonte). *Anais ...* Viçosa : SIF/DEF/UFV, 1988. p. 1-28.
- ROTHERMEL, R.C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 40 p. (Research Paper, INT-115).
- ROTHERMEL, R.C.; DEEMING, J.E. **Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects**. Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1980. 4 p. (General Technical Report, INT-93).
- RUBY, E.C. Rationale for seeding grass on the Stanislaus Complex burn. In: SYMPOSIUM ON FIRE AND WATERSHED MANAGEMENT (1988 : Sacramento). **Proceedings ...** Berkeley : Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1989. p. 125-130.

- RYAN, K.C.; NOSTE, N.V. Evaluating prescribed fires. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON WILDERNESS FIRE (1983 : Missoula). **Proceedings ...** Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1985. p. 230-238.
- SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. Análise técnico econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 346-357, 1995.
- SERTSU, S.M.; SANCHEZ, P.A. Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 42, n. 6, p. 940-944, 1978.
- SILVA, A.J.S.R.; RIGOLOT, E.; NEVES, A.P.A. Reduction of combustible material in forests after controlled burning. In: SIMPÓSIO SOBRE A FLORESTA E O ORDENAMENTO DO ESPAÇO DE MONTANHA (1988 : Vila Real). **Anais ...** Vila Real : Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1988. p. 193-202.
- SILVA, C.R. O planejamento de sistema de exploração de eucalipto para polpa. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS (1987 : Curitiba). **Anais ...** Curitiba : Universidade Federal do Paraná/TUFRO, 1987. p. 40-54.
- SILVA, M.C.; MACHADO, C.C. Influência do diâmetro e do número de árvores por hectare no custo de corte do eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 308-318, 1995.
- SOARES, R.V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus* spp. na Região de Sacramento, MG. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 48-62, 1979a.
- SOARES, R.V.; HAKKILA, P. Potencial energético dos resíduos de desbastes em plantações de *Pinus taeda* no estado do Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 15, p. 73-94, 1984.
- SOARES, R.V. **Incêndios florestais - Controle e uso do fogo**. Curitiba : FUPEF. 1985. 213 p.
- SOARES, R.V. Queima controlada em plantações de *Pinus* spp. na Região de Sacramento, MG. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 33-40, 1979b.
- SOARES, R.V. Queimas controladas: prós e contras. In: FORUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS E REUNIÃO CONJUNTA IPEF-FUPEF-SIF (I e III : 1995 : Piracicaba). **Anais ...** Piracicaba : IPEF, 1995. p. 6-10.
- STOCKER, G.C. Regeneration of a north Queensland rain forest following felling and burning. **Biotropica**, New Orleans, v. 13, p. 86-92, 1981.
- STOCKS, B.J. Fire behavior in mature jack pine. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 19, n. 6, p. 783-790, 1989.

- SUAREZ DE CASTRO, F. Las quemas como pratica agrícola y sus efectos. Colombia, Fed. Nal. de Cafeteros de Colombia, **Boletim Técnico**, v. 2, n. 8, p. 1-21, 1957.
- SWANSON, F.J. Fire and geomorphic process. In: **FIRE REGIMES AND ECOSYSTEMS CONFERENCE (1979 : Honolulu). Proceedings ...** Washington : USDA Forest Service, 1981. p. 401-420.
- TANAKA, O.K. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 141, p. 24-30, 1986.
- TANGREN, C.D.; McMAHON, C.K.; RYAN, P.W. **Contents and effects of forest fire smoke**. Asheville : Southeastern Forest Experiment Station, 1976. p. 9-22. (General Technical Report, SE-10).
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, N.J. Laboratory of Climatology. 1955.
- TIEDEMANN, A.R. **Regional impacts of fire**. Washington : USDA Forest Service. 1978. p. 532-556.
- TOMKINS, I.B.; KELLAS, J.D.; TOLHUSRT, K.G.; OSWIN, DA. Effects of fire intensity on soil chemistry in an eucalypt (*Eucalyptus* sp.) forest. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v. 29, n. 1, p. 25-47, 1991.
- TOZZINI, D.S.; SOARES, R.V. Relações entre comportamento do fogo e danos causados a um povoamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1-2, p. 9-13, 1987.
- TRUGILHO, P.F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. Viçosa, 1995. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 160 p.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York : Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.
- UHL, C.; CLARK, K.; CLARK, H.; MURPHY, P. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, Oxford, p. 631-649, 1981.
- US. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, USDA Forest Service, 1989.
- VAN LOON, A.P. **Investigations into the effects of prescribed burning on young even-aged blackbutt**. New South Wales : Forestry Comission of New South Wales, 1969. 49 p. (Research Note, n. 23).
- VAN WAGNER, C.E. Height of crown scorch in forest fires. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 3, n. 1, p. 373-378, 1973.
- VAN WAGNER, C.E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest Science**, Bethesda, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1968.
- VAUX Jr., J.H.; GARDNER, P.D.; MILLS, T.J. **Methods for assessing the impact of fire on forest recreation**. Washington : USDA Forest Service, 1984. 3p.

- VINEY, N.R.; HATTON, T.J. Assessment of existing fine fuel moisture models applied to *Eucalyptus* litter. **Australian Forestry**, Canberra, v. 52, n. 2, p. 82-93, 1989.
- WADE, D.D.; LUNDSFORD, J. Fire as a management tool: prescribed burning in the Southern United States. **Unasyuva**, Rome, v. 41, n. 162, p. 28-38, 1990.
- WARD, D.E. Factors influencing the emissions of gases and particulate matter from biomass burning. In: GOLDAMMER, J.G. **Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin : Springer-Verlag, 1990. p. 418-439. (Ecological Studies 84).
- WARD, D.E.; McMAHON, C.K.; JOHANSEN, R.W. An update on particulate emissions from forest fires. In: ANNU. MANAGE. AIR POLLUT. CONTROL ASSOC. (69th : 1976 : Portland). **Proceedings ...** Portland, 1976. 15p.
- WEBB, D.R.; HENDERSON, R.L. Gila wilderness prescribed fire program. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON WILDERNESS FIRE (1983 : Missoula). **Proceedings ...** Ogden : Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1985. p. 413-414.
- ZEN, S. Sistemas de manejo do uso de herbicidas em áreas de reflorestamento e reforma. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS (1987 : Belo Horizonte). **Anais ...** Viçosa : SIF/DEF/UFV, 1988. p. 124-129.